

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra výrobních strojů a konstruování**

**Spracovanie briekiet z hliníkového odpadu**

**Briquettes Processing of Aluminium Waste**

**Študent:**

**Bc. Pavol Hruška**

**Vedúci diplomovej práce:**

**doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

**Ostrava 2015**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavol Hruška**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje  
Téma: **Zpracování briket z hliníkového odpadu**  
**Briquettes Processing of Aluminium Waste**

### Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce zpracujte stručnou rešerši dané problematiky včetně stručné analýzy stávající techniky v oblasti rozpojování a recyklace kovů. V rámci práce dále navrhnete sekundární drtič kovového odpadu a jeho dispoziční umístění ve středu semimobilní drtící linky pro rozpojování briket z hliníkového odpadu určité granulace. Návrh podložte potřebnými pevnostními a kinematickými výpočty. K návrhu vypracujte výkresovou dokumentaci v potřebném rozsahu a kvalitě. Bližší specifikace provozních podmínek a dalších parametrů určí zadavatel – TSR Slovakia s.r.o.

### Seznam doporučené odborné literatury:

VOŠTOVÁ, V. *Zpracování pevných odpadů II*. Vyd. 1. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006, 95 s. ISBN 80-01-03488-7  
VOŠTOVÁ, V. – FRIES, J. *Zpracování pevných odpadů*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 157 s. ISBN 80-01-02672-8  
FRIES, J. *Stroje pro zpracování odpadu*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1511-4  
ZEGZULKA, J. *Mechanika sypkých hmot*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 186 s. ISBN 80-248-0699-1  
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: ČNI, srpen 1997. 36 s.  
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: ČNI, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014  
Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry

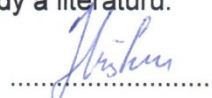


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Miestoprísahné prehlásenie študenta:

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracoval samostatne pod vedením  
vedúceho diplomovej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.


V Ostrave 18.5.2015

  
.....  
podpis

Prehlasujem, že

- som zoznámený s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Zb., autorský zákon, obzvlášť § 35 – užitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a užitie diela školského a § 60 – školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola banská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len „VŠB – TUO“) má právo nezárobkovo k svojej vnútornej potrebe diplomovú prácu použiť (§35 odst.3).
- súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB – TUO k prezenčnému nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB – TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB – TUO, v prípade záujmu z inej strany, uzavrú licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu §12 odst.4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že užiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnutie licencie k jej použitiu môžem len so súhlasom VŠB – TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB – TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č.111/1998., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave : 18.5.2015

  
.....  
podpis

Meno a priezvisko autora práce: Pavol Hruška

Adresa trvalého pobytu autora práce: Juraja Jánošíka 882/23, 01303 Varín

## **Anotácia diplomovej práce**

Hruška, P. *Spracovanie brikiet z hliníkového odpadu : diplomová práca*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojná, Katedra výrobných strojov a konštruovania, 2015, 67 s. Vedúci práce : doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Diplomová práca sa zaoberá návrhom sekundárneho drviča kovového odpadu a jeho dispozičným umiestnením v strede semimobilnej drviacej linky pre rozpojovanie brikiet z hliníkového odpadu. V úvode práce je spracovaný stručný prehľad techniky na spracovávanie kovového odpadu. V ďalšej časti sú spracované vstupné hodnoty s predbežným návrhom drviča. Návrh je podložený potrebnými pevnostnými a kinematickými výpočtami. Príloha obsahuje potrebnú výkresovú dokumentáciu.

## **Annotation of master thesis**

Hruška, P. *Briquettes processing of aluminium waste: master thesis*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2015, 67 p. Thesis head: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Master thesis deals power design unit of secondary crusher and his location in the middle of semi-mobile equipment for aluminium waste crushing. First part section of thesis provide some informations and overview of techniques for metal waste processing. Next part section process input value informations with preliminary design of crusher. The design part calculates by power and cinematic of crusher. Last part contains the necessary drawing documents.

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Úvod</b>  | 10 |
| 1.1 Recyklácia kovov všeobecne                                      | 10 |
| 1.2 Briketovanie ako forma ochrany životného prostredia             | 10 |
| 1.3 Prieskum trhu   | 12 |
| <b>2. Cieľ diplomovej práce</b>                                     | 18 |
| 2.1 Charakteristika drveného materiálu                              | 19 |
| 2.2 Technologické riešenie  | 20 |
| <b>3. Výpočtová správa</b>  | 23 |
| 3.1 Výkonnosť dvojvzperného čelustového drviča                      | 24 |
| 3.2 Výkonnosť odrazového drviča                                     | 25 |
| 3.3 Výpočet príkonu elektromotoru odrazového drviča                 | 26 |
| 3.4 Výpočet minimálneho priemeru hriadele rotoru                    | 27 |
| 3.5 Pevnostná kontrola hriadele rotoru                              | 28 |
| 3.6 Statická kontrola hriadele rotoru                               | 32 |
| 3.7 Dynamická bezpečnosť  | 41 |
| 3.8 Návrh a výpočet remeňového prevodu                              | 45 |
| 3.9 Spojenie hriadeľa s nábojom remenice pomocou tesného pera       | 48 |
| 3.10 Spojenie hriadeľa s nábojom ramien rotoru pomocou tesného pera | 50 |
| 3.11 Výpočet trvanlivosti ložísk                                    | 51 |
| 3.12 Pevnostná kontrola skrutiek na lištách rotoru                  | 53 |
| 3.13 Výpočet minimálneho priemeru čapu rámu                         | 57 |
| 3.14 Úpravy pôvodnej linky  | 59 |
| 3.15 Údržba a servis stroja   | 61 |
| <b>4. Záver</b>   | 64 |
| <b>5. Zoznam príloh</b>   | 67 |

## Zoznam použitých značiek a symbolov

|                            |                                    |                      |
|----------------------------|------------------------------------|----------------------|
| $A$                        | osová vzdialenosť                  | [mm]                 |
| $A_C$                      | tlačná plocha                      | [mm <sup>2</sup> ]   |
| $A_5$                      | ťažnosť                            | [%]                  |
| $a$                        | dĺžkový rozmer                     | [mm]                 |
| $B$                        | dĺžkový rozmer                     | [mm]                 |
| $b$                        | dĺžkový rozmer                     | [mm]                 |
| $b$                        | bezpečnosť proti preklznutiu       | [-]                  |
| $C$                        | dynamická únosnosť                 | [kN]                 |
| $C_0$                      | statická únosnosť                  | [kN]                 |
| $C_\alpha$                 | súčiniteľ vplyvu uhlu opásania     | [-]                  |
| $C_L$                      | súčiniteľ vplyvu dĺžky remeňa      | [-]                  |
| $C_P$                      | súčiniteľ vplyvu pracovného režimu | [-]                  |
| $\cos \varphi_N$           | účinník                            | [-]                  |
| $c$                        | dĺžkový rozmer                     | [mm]                 |
| $D$                        | priemer remenice                   | [mm]                 |
| $d$                        | dĺžkový rozmer                     | [mm]                 |
| $F_Z$                      | pracovné zaťaženie                 | [N]                  |
| $F_P, F_L, K, R_L, R_P, G$ | sila                               | [N]                  |
| $f_{ci}$                   | pevnosť v tlaku                    | [MPa]                |
| $f$                        | súčiniteľ trenia                   | [-]                  |
| $g$                        | tiažové zrýchlenie                 | [m·s <sup>-2</sup> ] |
| $h$                        | dĺžkový rozmer                     | [m]                  |

|           |                                    |                    |
|-----------|------------------------------------|--------------------|
| i         | počet odrazových líšt              | [-]                |
| i         | prevodový pomer                    | [-]                |
| ks        | súčiniteľ bezpečnosti              | [-]                |
| $K_v$     | húževnatosť                        | [J]                |
| $k_z$     | súčiniteľ prestupu horniny drvičom | $[m \cdot h^{-1}]$ |
| ks        | súčiniteľ bezpečnosti              | [-]                |
| $L_p$     | dĺžka remeňa                       | [mm]               |
| $L_{10h}$ | životnosť ložiska                  | [hod]              |
| l         | dĺžkový rozmer                     | [mm]               |
| $M_k$     | krútiaci moment                    | $[N \cdot m]$      |
| $M_o$     | ohybový moment                     | $[N \cdot m]$      |
| m         | hmotnosť                           | [kg]               |
| n         | otáčky                             | $[min^{-1}]$       |
| $N_o$     | ideálny menovitý výkon             | [kW]               |
| n         | otáčky                             | $[min^{-1}]$       |
| P         | výkon                              | [kW]               |
| P         | rozteč                             | [-]                |
| p         | tlak                               | [Pa]               |
| Q         | výkonnosť                          | $[t \cdot h^{-1}]$ |
| $R_e$     | medza klzu                         | [MPa]              |
| $R_m$     | medza pevnosti                     | [MPa]              |
| r         | dĺžkový rozmer                     | [mm]               |
| s         | pružný sklz                        | [-]                |



|                        |                                   |                      |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| $t$                    | hĺbka drážky                      | [mm]                 |
| $V$                    | objem                             | [m <sup>3</sup> ]    |
| $v$                    | rýchlosť                          | [m·s <sup>-1</sup> ] |
| $\alpha$               | uhol                              | [ °]                 |
| $\alpha_{TK}$          | tvarový súčiniteľ pre krut        | [-]                  |
| $\alpha_{\sigma O}$    | tvarový súčiniteľ pre ohyb        | [-]                  |
| $\beta_K$              | bezpečnostný súčiniteľ            | [-]                  |
| $\beta_{\sigma}$       | vrubový súčiniteľ                 | [-]                  |
| $\varepsilon_{\sigma}$ | súčiniteľ vplyvu veľkosti súčasti | [-]                  |
| $\eta$                 | účinnosť                          | [%]                  |
| $\eta_P$               | súčiniteľ akosti povrchu          | [-]                  |
| $\rho$                 | polomer                           | [mm]                 |
| $\sigma$               | napätie v ohybe                   | [MPa]                |
| $\tau$                 | napätie v krute                   | [MPa]                |
| $\varphi'$             | trecí redukovaný uhol             | [ °]                 |
| $\psi$                 | uhol stúpania závit               | [ °]                 |

## **1. Úvod**

### **1.1 Recyklácia kovov všeobecne**

Recyklácia kovov si v dnešnej dobe nevyžaduje zvlášť vysoké energetické nároky, čo je jedna z najvyšších priorít v oblasti šetrenia energie. Ďalšou prioritou je šetrenie primárnej suroviny (rudy) a nákladov na jej prepravu k spracovaniu. S rastom cien drahých či farebných kovov sa pojem recyklácie čoraz častejšie skloňuje – začína sa spracovávanie, recyklácia odpadov, ktorá bola predtým ekonomicky nevýhodná.

Recykláciou bežného železného šrotu sa šetrí primárna surovina, voda a energia, ktorú si vyžaduje priemyselná produkcia kovových materiálov. Okrem toho sa znižuje aj znečistenie životného prostredia, ktoré je spojené s ťažbou a dopravou železnej rudy k miestu spracovania.

Cín, meď a hliník predstavujú najväčšie percento farebných kovov, ktoré je možno recyklovať. Spracovanie kovového odpadu s obsahom medi umožňuje získať druhotnú surovinu pôvodnej kvality. Recykláciou kovového odpadu s obsahom cínu je možné získať druhotnú surovinu, ktorá môže byť znova použitá na poťah oceľového plechu na výrobu plechoviek v potravinárskom priemysle [8].

Hlavnými dôvodmi prečo treba hliníkový odpad recyklovať je jeho nízka hmotnosť, výborná opracovateľnosť, odolnosť voči korózii a všestranné využitie v priemysle. Svetová produkcia hliníka predstavuje asi 64 mil. ton ročne [7]. Pretože hliník je jedným z najrozšírenejších kovov obsiahnutým v zemskej kôre, na prvý pohľad by sa mohlo zdať, že jeho recyklovanie nie je až také podstatné. Podstatným dôvodom recyklácie je prvovýroba hliníka z bauxitu, ktorá je energeticky značne náročná. Oproti výrobe z prírodnej suroviny – bauxitovej rudy, možno ušetriť recykláciou hliníka v každej tоне vyrobenej zliatiny približne 4 tony bauxitu a až neuveriteľných 95 % energie [7]. Hliník je neobmedzene a úplne recyklovateľný bez straty kvality, čo pridáva ďalšie plus k jeho spektru fyzikálnych vlastností.

### **1.2 Briketovanie ako forma ochrany životného prostredia**

Počas úprav rôznych surovín, druhotných surovín a odpadov vznikajú jemné až malé triedy daného materiálu. Takto upravený materiál je z hľadiska svojej konzistencie, teda malej mernej hmotnosti takmer nepoužiteľný. Preto je v priemysle využívaná metóda „skusovenia“. Z dôvodu ďalšieho využitia týchto surovín zaručuje skusoviteľnosť

upravenému materiálu väčšiu mernú hmotnosť čo zjednodušuje ďalšiu manipuláciu alebo jeho prepravu.

Jednou z najčastejšie používaných metód recyklácie v priemysle je briketovanie trieskového odpadu. Využitím tejto formy úpravy kovového odpadu sa v určitej miere zvyšuje výťažnosť kovu pri recyklácii.

Prvým krokom, ktorý treba pred samotnou úpravou kovových triesok, briketovaním vykonať, je odstránenie látok, kvapalín, ktoré vo veľkej miere ohrozujú životné prostredie. Keďže sa pri ukladaní a spracovávaní kovového odpadu v priemysle kladie čoraz väčší dôraz na ochranu životného prostredia, je separácia nebezpečných látok od kovových triesok dôležitý krok v celej úprave.

*Odstraňovanie kvapalín od kovových triesok je možné viacerými spôsobmi:*

*Briketovacie stroje* (komerčné briketovacie linky) sú prispôbované na vylisovávanie chladiacej kvapaliny. Týmto spôsobom sa však určité percento kvapaliny neodlúči a nezaistí sa tak chemická čistota kovových brikiet.

*Pranie v organických rozpúšťadlách* – potrebný je nutný obeh rozpúšťadla v systéme.

*Vákuové čistenie* – je potrebná špeciálna vákuová linka s kondenzátorom výparov, priemyselne málo používaná

*Vypaľovanie* – najlacnejšia forma, je však potrebné zabezpečiť filtrovanie alebo dospaľovanie atmosféry ktorá vzniká pri vyhárání chladiacích kvapalín. [7]

Briketovanie sa uskutočňuje v briketovacích linkách, prípadne v hydraulických lisoch s briketovacími nástrojmi. Miera skomponovania triesok (hustota brikiet – v práškovej metalurgii udávaný pojem *GREEN BODY DENSITY*) závisí od tlaku, ktorý dokáže vyvinúť briketovací lis. Od tlaku briketovacieho stroja závisí, či bude produkt schopný kompaktnosti (či sa samovoľne nerozsype).



Obr.1 brikety z oceleového odpadu [7]

### 1.3 Prieskum trhu

#### ***Paketovací a strihací lis CPN 400***

Strojárska spoločnosť ŽĎAS má vo svojom portfóliu výrobkov aj kombinované stroje, ktoré zlučujú technológiu úpravy kovového odpadu – paketovanie a strihanie. To prináša užívateľom výhody v nižších investíciách, pretože nemusia kupovať dva stroje jednoúčelové, ale len jeden stroj kombinovaný.

Predstaviteľom stacionárnych paketonožníc je typ *CPN 400*, určený na paketovanie alebo na strihanie neskladného a rozmerného oceleového odpadu s pevnosťou v ťahu do *440 MPa*, ako sú oceleové konštrukcie, potrubie, karosérie vozidiel a amortizačný kovový odpad. Konštrukcia lisu je usporiadaná tak, aby umožňovala jednoduchý prechod zo strihania na paketovanie a naopak. Pre zúženie šírky strihu je možné použiť dolisy ako bočné lisovníky. Pakety a strihaný odpad odchádzajú jedným smerom pod zdvihnutými nožovými saňami. [11]



Obr.2 lis CPN 400 [11]



Obr.3 lis CPN 400 [11]

### **Nožnice na kovový odpad 320K, 400K**

Nožnice sú vhodné na strihanie veľkoobjemného a tyčového odpadu. Jednoduché premiestňovanie nožníc, ktoré sú v prevedení kontajnera a ich nezávislosť chodu na elektrickej energii, predurčuje nožnice na prácu v zberniciach alebo priamo v mieste výskytu odpadu. [11]

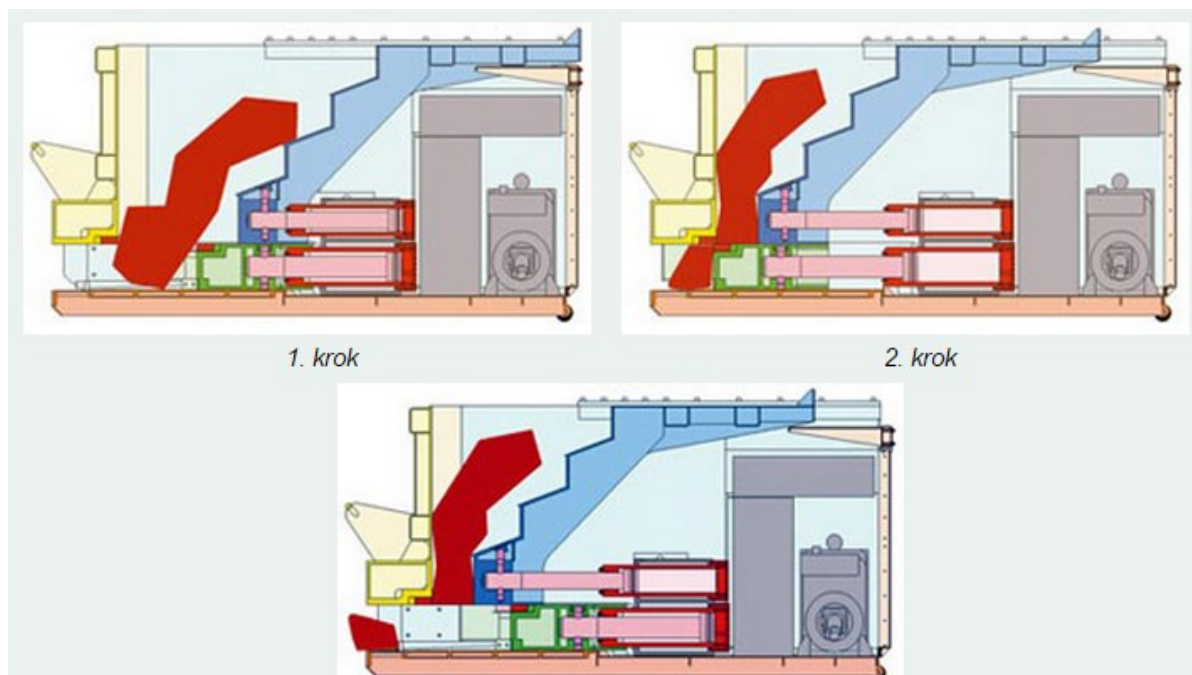
Základom konštrukcie nožníc je vystužené dno kontajneru podľa *DIN 3072*, na ktorého oteruvzdornej ploche sa pohybujú dva hydraulické valce s nožovými saňami proti strižnej stene. K stlačeniu a pridržiavaniu odpadu pred strihom slúži pridržiavač, poháňaný hydraulickým valcom [11]. V zadnej časti kontajneru je umiestnený pohon s dieselovým motorom, ktorý poháňa pomocné a hlavné čerpadlá, ktoré privádzajú tlakový olej z nádrže



cez blok obvodu do hydraulických valcov. Vlastný strižný nôž uprostred nožových saní dopĺňujú na oboch stranách šikmé zhrnovacie nože. Pre zavážku odpadu do nožníc je potrebný mobilný nakladač, ktorého šofér riadi chod stroja v ručnom alebo automatickom režime [11]. Automatický mazací systém znižuje náklady na údržbu. Vodorovný pohyb noža neprenáša rázy do základov. Nožnice sú prepravované nákladným autom s nosnosťou 24 t.



Obr. 4 nožnice na kovový odpad ŽĐAS [11]

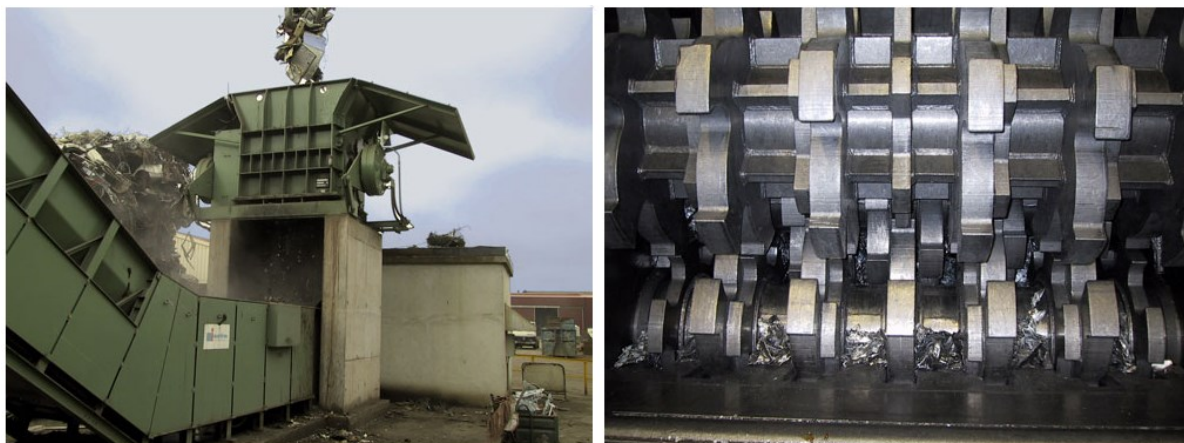


Obr. 5 postup práce nožníc [11]

### ***Drvič kovového odpadu ZDS a ZTS***

Spoločnosť *DANIELI HENSCHEL* so zastúpením v Európe ale aj v Ázii ponúka vo svojom rozsiahlom portfóliu produktov aj drviče kovového šrotu ZDS a ZTS. Je to vysokovýkonný stroj s optimalizáciou a zvýšenou bezpečnosťou práce.

Danieli Henschel ponúka sedem rôznych modelov s výkonom *400 – 800 HP*, ktorý vytvára dvoj alebo trojhriadeľový systém s výkonnosťou *40 – 100 t/hod*. Tento systém obsahuje funkciu reverzu, ktorá v prípade pohltenia nadrozmerného kusu šrotu, vráti kus späť na predrvenie. Takýmto spôsobom sa zefektívňuje výkonnosť stroja, ktorá v podmienkach konkurencie posúva spoločnosť vpred [12].



Obr. 6 drvič kovového odpadu ZDS [12]

### ***Briketovacie lisy HLS Metal***

Lisy boli vyvinuté pre lisovanie kovových triesok z obrábania liatiny, farebných kovov a brúsnych kalov tlakom *400 MPa* [9].

Lisovanie prebieha vo valcovej raznici uzatvárannej z oboch strán lisovacími nástrojmi. Lisovací tlak v raznici dosahuje až *400 MPa* a pôsobí na obidve podstavy valcovej brikety. Unikátny spôsob lisovania materiálu zaručuje vysoké, rovnomerné prelisovanie materiálu v celom objeme brikety. Priemerná dĺžka brikety je *1,5 x* väčšia ako jej priemer. Pri spracovaní liatiny je jej merná hmotnosť až *5 300 kg/m<sup>3</sup>* [9].

Násypky lisov *HLS METAL* sú väčšinou plnené šnekovým dopravníkom z veľkoobjemového zásobníka materiálu, ktorý je umiestnený v blízkosti lisu. Lis je vybavený čidlom hladiny pre snímanie materiálu v násypke. Signál čidla hladiny je využitý pre riadenie prevádzky lisu aj s možnosťou ovládania externého dopravníka materiálu do násypky lisu. Pre dopravu zlisovaných brikiet sklzom do prepravných obalov slúži vibračný žľab. Výška vyústenia vibračného žľabu je *900 mm* [9].



Obr. 7 briketovací lis HLS Metal [9]

Tab. 1 výrobné typy lisov HSL Metal [9]

| HLS Metal 100   | HLS Metal 200 | HLS Metal 350 | HLS Metal 500 | HLS Metal 800 |          |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| Príkon          | 7,3 kW        | 15 kW         | 22 kW         | 26 kW         | 37,5 kW  |
| Výkon +/- 10%   | 100 kg/hod    | 200 kg/hod    | 350 kg/hod    | 500 kg/hod    | 800 kg/h |
| Hmotnosť        | 1 200 kg      | 3 400 kg      | 4 000 kg      | 4 200 kg      | 8 400 kg |
| Priemer brikety | 40 mm         | 60 mm         | 80 mm         | 80 mm         | 90 mm    |

### ***Briquetovacie lisy RUF***

Hydraulické agregáty *RUF* briketovacích lisov podľa potreby generujú špecifický lisovací tlak až  $5000 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Vďaka lisovacím tlakom lisov je zaistené, že brikety sú vždy pevne zlisované [10].























Zariadenie vytlačí z vlhkých pilín, triesok a usadenín reznú kvapalinu, ktorú je možné po úprave opäť použiť. Výrazne sa tým znižuje spotreba mazacích prostriedkov. V porovnaní s voľnými trieskami sú straty pri tavení brikiet podstatne nižšie a výťažnosť z tavby je tak vyššia [10]. Pri lisovaní kovov je možné voľiť medzi rozmermi brikiet  $60 \times 40 \text{ mm}$  až  $150 \times 120 \text{ mm}$ . Dĺžka brikiet pritom môže byť v určitom rozmedzí. [10]





Obr. 8 briketovací lis RUF [10]

Tab. 2 výrobné typy lisov RUF [10]

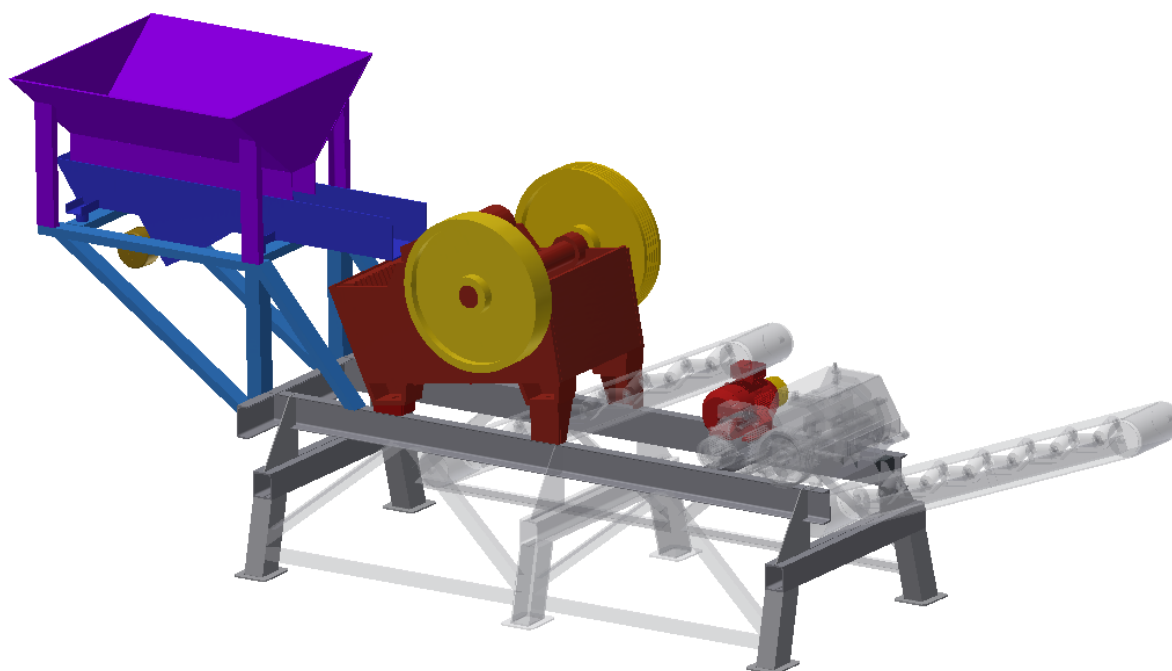
| KOVY                                      | RAP  | RUF 4 až<br>RUF 11   | RUF 7,5 až<br>RUF 22   | RUF 18,5 až<br>RUF 55  | RUF 90   |
|---|--|--|--|--|--|
| Výkon max. (kg/h)                         |  |  |  |  |  |
| • hliník                                  | 30-50  | 60-300   | 130-700  | 300-1300   | 1000-2000  |
| • ocel & litina                           | 30-80  | 100-200  | 130-1200   | 350-2800   | 2000-3000  |
| • mosaz, bronz, měď                       | 50-100   | 100-220  | 360-1150   | 450-2700   | 3000-4800  |
| Výkon motoru (kW)                         | 4  | 4-11   | 7,5-22   | 18,5-55  | 90   |
| Specifický lisovací tlak<br>max. (kg/cm²) | 1600-3800  | 1600-3700  | 1400-5000  | 1700-5000  | 2500-3900  |
| Formáty briket (mm)                       |  60x40<br> 60x60<br> 80x40<br> Ø80 |  60x40<br> 60x60<br> Ø60<br> Ø80 |  150x60<br> 150x75<br> 150x120<br> Ø60<br> Ø70<br> Ø80<br> Ø100 |  150x75<br> 150x120<br> Ø80<br> Ø100<br> Ø120 |  Ø120<br> Ø150 |
| Délka briket (mm)                         | 30-60  | 30-100   | 65-100   | 65-100   | 65-150   |
| Rozměry (m)<br>Délka x šířka x výška      | 1,3x1,0x1,6  | 1,3x1,5x1,9 až<br>1,6x1,6x1,95   | 2,7x2,0x2,2 až<br>3,3x2,4x2,2  | 2,9x2,4x2,2 až<br>3,3x2,4x2,2  | 3,8x3,8x2,5  |
| Hmotnost (t)                              | 1  | 1,4-1,8  | 3,3-4,9  | 4,6-6  | 12   |

## 2. Ciel' diplomovej práce

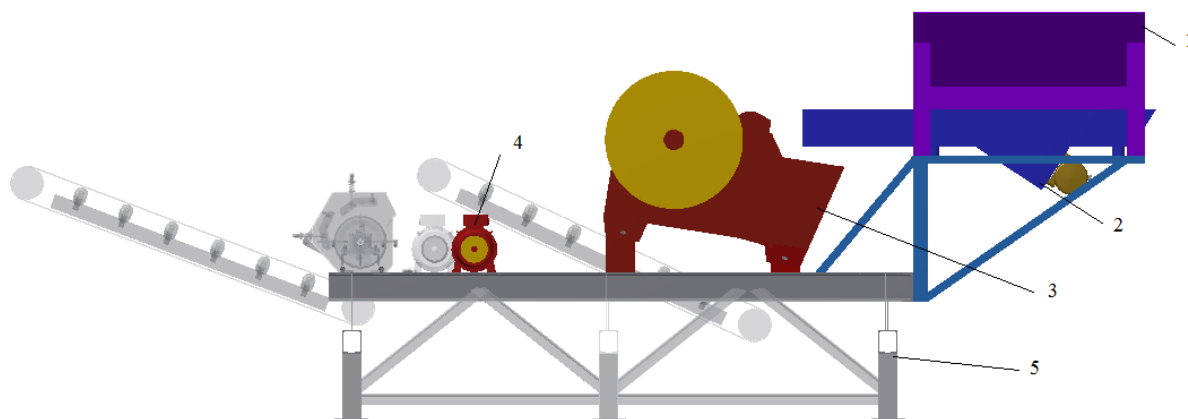
Podstatou diplomovej práce bude konštrukčný návrh stroja určeného na zdrobňovanie briek z hliníkového odpadu. Navrhovaný stroj bude svojimi výkonnosťnými a rozmerovými parametrami umiestnený v semimobilnej drviacej linke (obr.9). Existujúca linka sa skladá z čeľustového drviča, podávača, násypky a základného rámu, na ktorom je celá technológia umiestnená.



Obr. 9 semimobilná linka



Obr. 10 3D model pôvodnej linky



Obr. 11 3D model pôvodnej linky

## 2.1 Charakteristika drveného materiálu

Zdrobňovaný materiál bude briketa z hliníkového odpadu (obr.12). Briketa je lisovaná z trieskového odpadu, ktorý vzniká pri obrábaní hliníkových dielcov v automobilovom priemysle. Medzi trieskami sa nachádza i malé percento triesok zo zliatinovej ocele. Z dôvodu oddelenia oboch druhov triesok je brikety potrebné celkom rozdrviť, aby bol výstupný materiál schopný triedenia.

Prvotným návrhom zo strany zadávateľa pre sekundárnu operáciu bol guľový mlyn, ktorý sa však v ponuke neujal, z dôvodu neefektívneho pomeru výkonnosti a rozmerov.



Obr. 12 briketa a jej skúška na lise VPM

V rámci diplomovej práce bola briketa podrobená laboratórnej skúške. Skúmaná vzorka bola náhodne vybratá a odskúšaná podľa normy akou sa kontrolujú vzorky betónu.

**Prístroje a meradlá:**

meradlo dĺžky, laboratórna váha 5000G/1G, skúšobný lis VPM

**Postup skúšky:**

1. Skúšobné teleso musí vyhovovať norme *STN EN 12 390-1*. Pri nevyhovujúcom tvare alebo rozmeroch sa postupuje podľa ďalších ustanovení normy.
2. Keďže súčasťou protokolu o skúške je objemová hmotnosť skúšaného betónu, stanoví sa potrebné údaje (hmotnosť, rozmery).
3. Skúšobné teleso sa uloží medzi tlačné dosky lisu centricky.
4. Zaťažuje sa tlakom plynule, bez vyodenia rázu až do porušenia vzorky v nosnom priereze, zaznamenaná sa maximálne zaťaženie  $F$  [N].

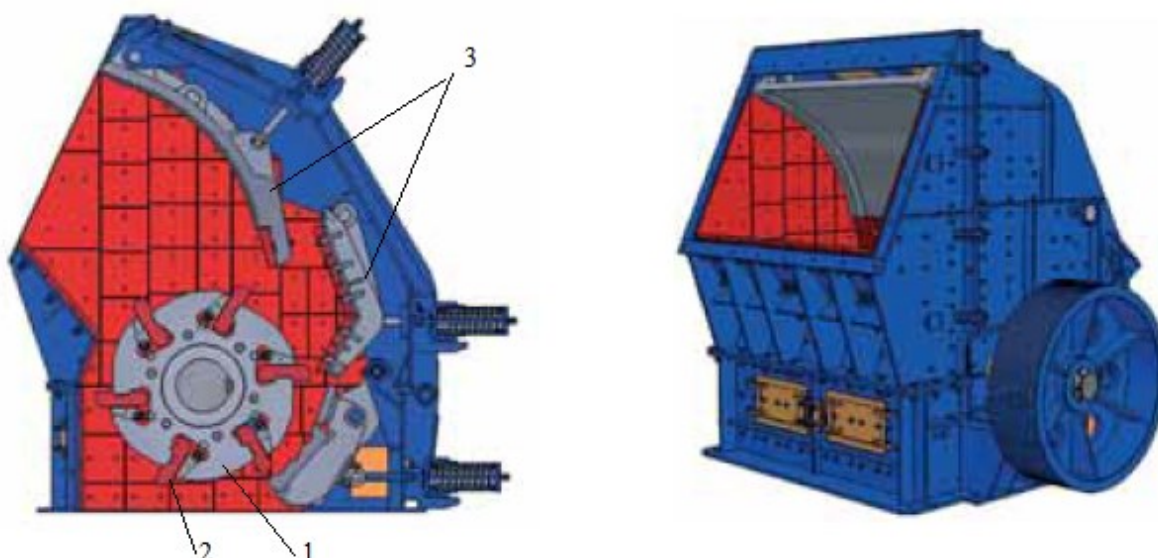
**Výsledky skúšky** sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

Tab. 3 výsledky laboratórnej skúšky

| <b>Veličina</b>   | <b>Hodnota</b>       |
|---|----------------------|
| <i>hmotnosť <math>m</math> [kg]</i>                             | 2,65                 |
| <i>rozmery <math>a \times b \times c</math> [mm]</i>            | 150,6 · 100,9 · 61,5 |
| <i>tlačná plocha <math>A_c</math> [mm<sup>2</sup>]</i>          | 15 196               |
| <i>tlačná sila <math>F</math> [kN]</i>                          | 270                  |
| <i>pevnosť v tlaku <math>f_{ci}</math> [MPa]</i>                | 17,8                 |
| <i>objem <math>V</math> [m<sup>3</sup>]</i>                     | 0,000 934 526        |
| <i>objemová hmotnosť <math>\rho_v</math> [kg/m<sup>3</sup>]</i> | 2840                 |

**2.2 Technologické riešenie**

Riešením bude sekundárny drvič podobný odrazovému. Komerčné odrazové drviče sa vyrábajú v rôznych výkonnostných stupňoch a veľkostiach (obr.13).



**Obr. 13 odrazový drvič ODH 1623 – 3D model [13]**

1 – rotor, 2 – odrazová lišta, 3 – odrazová doska

Odrazový drvič tvorí skriňu s drviacou komorou a vodorovne uloženým jedným alebo dvoma hriadeľmi s rotorom. Po obvode rotora sú umiestnené odrazové lišty, ktoré pri vysokých pracovných otáčkach vrhajú zdobňovaný materiál na odrazové dosky. Od dosiek sa materiál späť odráža na odrazové lišty. Tento dej sa opakuje až dovtedy, kým materiál neopustí drviacu komoru. Dôležitá je obvodová rýchlosť rotora. Pokiaľ sú otáčky rotora príliš vysoké, rotor stráca svoje drviace schopnosti. Materiál sa iba odráža od vonkajšieho povrchu odrazových líšt a príliš vysoké otáčky mu nedovolia dostať sa medzi drviace lišty. Obvodová rýchlosť sa pohybuje od  $10 \div 70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Hriadeľ s rotorom a odrazové dosky plnia najdôležitejšiu funkciu. Odrazové lišty sú na rotore upevnené súmerne. Poznáme rotory s dvoj a viac odrazovými lištami. Ich profil býva osovo súmerný, aby sa dali po otočení o  $180^\circ$  znova použiť.

Na steny skrine v drviacej komore býva upevnený materiál, ktorý odoláva nadmernej abrazii. V komore sa produkuje veľké množstvo prachu, preto býva ich tesnenie dôkladnejšie ako u iných zdobňovacích strojoch. Celá skriňa drviča je rozdelená vo vodorovnej rovine prechádzajúcej osou rotora a to z dôvodu jednoduchšej manipulácie s komponentami drviča. Za použitia hydraulických priamočiarych motorov možno skriňu jednoducho otvoriť a vykonať obhliadku, údržbu, v nutnom prípade opravu rotora alebo odrazových dosiek.

Sú umiestňované v statických technologických linkách v kameňolomoch, semimobilných alebo mobilných linkách. Práve odrazové drviče sú z hľadiska rôznorodého



spektra zdrobňovaného materiálu jedným z najčastejšie používaných strojov v mobilných linkách. Svojimi malými rozmermi a vysokou výkonnosťou sa v priemysle zdrobňovania často radia k tým najvýkonnejším strojom. Obrovskou výhodou, v oblasti údržby a opravy, je rýchla a pomerne jednoduchá výmena náhradných dielov.

***Prednosti odrazových drvičov:***

- jednoduchá výmena drviacich komponentov,
- menšia spotreba energie na vytvorenie nového povrchu zŕn v porovnaní s tlakovými drvičmi,
- schopnosť zdrobňovať široké spektrum materiálov vrátane vlákнитých s pomerne vysokým podielom kubických zŕn v produkte,
- získavané zrná sú zbavené vnútorného pnutia, ktoré sa dynamickými silami uvoľnia a materiál už dodatočne nepraská a neláme sa.

***Nedostatky odrazových drvičov:***

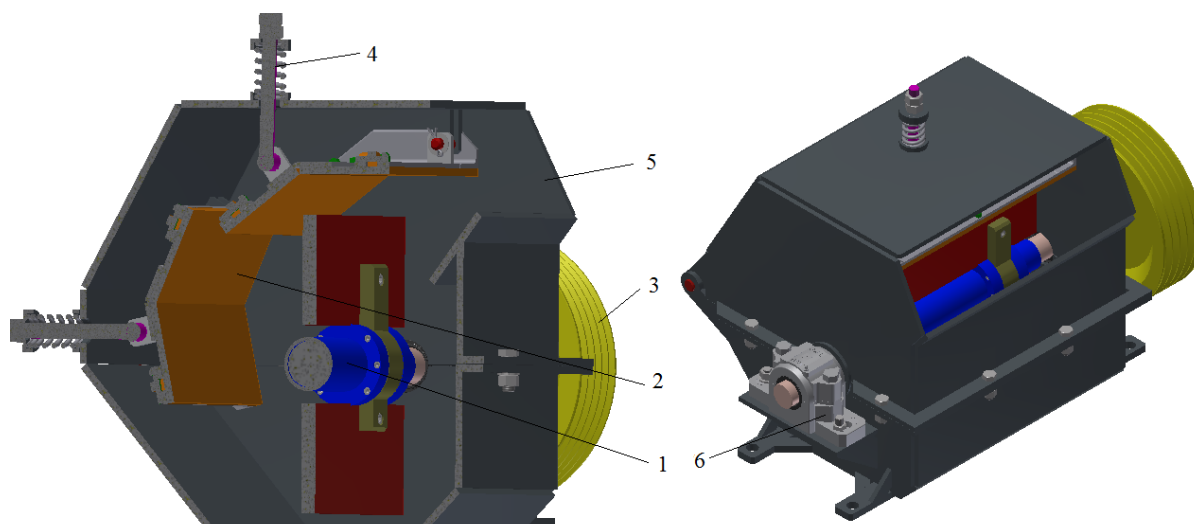
- ľahké zahltenie pracovnej komory predávkovaním na vstupe,
- postupujúce opotrebenie odrazových líšt znižuje drviace účinky a znižuje presnosť podielu kubických zŕn v produkte,
- v prípade nebezpečenstva nemožno stroj ihneď zastaviť kvôli veľkému momentu zotrvačnosti rotoru,
- vysoké opotrebenie drviacich komponent, ktoré je prednostne orientuje len na drvenie krehkých a neabrazívnych hornín.

### 3. Výpočtová správa

#### Špecifikácia vstupných parametrov

- *výkonnosť sekundárneho drviča* – je závislá od výkonnosti drviča primárneho a jeho príslušenstva. Primárny drvič, dvojvzperný čeľušťový DCJ 400x330, má podľa podnikových katalógov výkonnosť  $Q = 15 \div 20 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$  v závislosti od nastavenia výstupnej štrbiny a množstva materiálu na vstupe. Predpokladajme teda, že tieto hodnoty budú pre výpočty maximálne. To znamená, že výkonnosť navrhovaného sekundárneho drviča musí byť vyššia alebo rovná.
- *materiál, ktorý bude spracovávaný* – briketa, lisovaná pod tlakom 400 MPa v tvare kvádra o rozmeroch 150,6 x 100,9 x 61,5. Po primárnom rozpojení briketa dostáva formu sypkého materiálu, ktorý sa dá prirovnať k frakcii 0 – 32 mm.
- *maximálne rozmery drviča* – tým sú myslené rozmery vonkajšie, zostavné. Navrhovaný drvič spolu s pohonom musí mať také rozmery, aby ho bolo možné dispozične umiestniť a zakomponovať do existujúcej zostavy ( príloha A - zostavný výkres č. HRU0057).
- *vstupný otvor* – konkrétne šírka vstupného otvoru by mala byť vzhľadom na pásový dopravník, ktorý zaváňa materiál do drviča väčší ako  $B = 400 \text{ mm}$  (šírka pásu dopravníka). Takto riešená optimálna šírka je predpoklad pre rovnomerné rozmiestnenie materiálu pri vstupe do drviča.
- *výsypná výška pásového dopravníka za sekundárnym drvičom* – táto výška  $h = 1,5 \text{ m}$  zodpovedá rozmerom kontajnera určeného na prevoz materiálu.
- *pripojenie na zdroj elektrickej energie* – všetky pohonné jednotky (primárneho, sekundárneho drviča, elektrovalcov dopravníkov, vibromotor podávača) budú napojené do jedného miesta linky, odkiaľ budú centrálné zapojené na prívod elektrickej energie z určeného miesta.

Navrhnutý drvič (obr.14) je sekundárnym krokom v úprave daného zдробňovaného materiálu. Z dôvodu plynulého prechodu materiálu jednotlivými strojmi a ich príslušenstvami musí byť výkonnosť tohto drviča väčší alebo rovný výkonnosti drviča primárneho zдробňovania.



Obr. 14 3D model sekundárneho drviča

1 – rotor, 2 – odrazová doska, 3 – remenica, 4 – zostava pre nastavenie štrbiny, 5 – rám drviča, 6 – ložiskový domec

### 3.1 Výkonnosť dvojvzperného čel'ust'ového drviča

**Výkonnosť pri nastavení štrbiny  $b = 0,03 \text{ m}$ :**

$$Q_1 = a \cdot b \cdot \rho \cdot k_z \quad (1)$$

$$Q_1 = 0,4 \cdot 0,03 \cdot 2,65 \cdot 100$$

$$Q_1 = 3,47 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$$

**Výkonnosť pri nastavení štrbiny  $b = 0,05 \text{ m}$ :**

$$Q_1 = a \cdot b \cdot \rho \cdot k_z \quad (2)$$

$$Q_1 = 0,4 \cdot 0,05 \cdot 2,65 \cdot 300$$

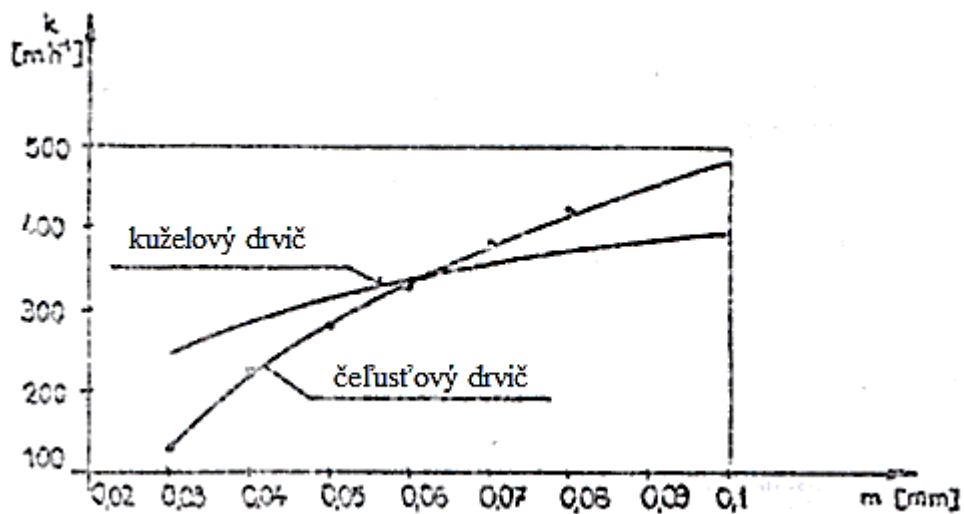
$$Q_1 = 17,34 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$Q_1 = 5,99 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

- $b = 0,03 \div 0,05 \text{ m}$  - možnosť nastavenia štrbiny
- $a = 0,4 \text{ m}$  – šírka čel'uste
- $k_z = 100 \div 300 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$  - súčiniteľ prestupu horniny drvičom (graf 1)



Graf 1 závislosť k na m pre rôzne drviče



Objemová hmotnosť zdrobňovaného materiálu:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{2,65}{93 \cdot 10^{-5}}$$

$$\rho = 2840 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

-  $m = 2,65 \text{ kg}$  - hmotnosť vzorku určeného na rozpojovanie

-  $V = 93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  - objem vzorku určeného na rozpojovanie

### 3.2 Výkonnosť odrazového drviča

Aby sa predchádzalo zasypávaniu, zahlcovaniu alebo preťažovaniu odrazového drviča, jeho výkonnosť musí byť vyššia nanajvýš rovná výkonnosti predchádzajúceho primárneho drviča. Jeho maximálna výkonnosť predstavuje hodnotu  $Q_1 = 20 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$  čo je v prepočte  $Q_1 = 6,92 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 0,00192 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Vzorec pre výpočet výkonnosti odrazového drviča:

$$Q_2 = (0,0125 \div 0,0188) \cdot d \cdot l \geq Q_1 \quad (4)$$

- po úprave dostaneme:

$$d \geq \frac{Q_1}{(0,0125 \div 0,0188) \cdot l}$$

$$d \geq \frac{0,00192}{(0,015) \cdot 0,5}$$

$$d \geq 0,256 \text{ m}$$

- navrhovaný vonkajší priemer rotoru  $d = 0,384 \text{ m}$  vyhovuje zadanej podmienke

-  $l = 0,5 \text{ m}$  – navrhovaná dĺžka odrazovej lišty

Tab. 4 výkonnosť drvičov

| Typ drviča | Výkonnosť [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ] |
|------------|--|
| čelustový  | 5,99   |
| odrazový   | 10,36  |

Vypočítaná výkonnosť technologicky vyhovuje. Množstvo materiálu, ktoré dokáže spracovať odrazový drvič je približne dvojnásobne väčší ako množstvo, ktoré spracuje čelustový drvič pri nastavení jeho maximálnych parametroch.

### 3.3 Výpočet príkonu elektromotoru odrazového drviča

$$P = F_z \cdot l_s \quad (5)$$

$$P = (0,5 \div 1) \cdot 12,83$$

$$P = 1 \cdot 12,83 \text{ kW}$$

$$P = 12,83 \text{ kW}$$

-  $F_z = 0,5 \div 1 \text{ N}$  - pracovné zaťaženie odrazových líšt rotoru (tab.5)

Tab. 5 pracovné zaťaženie v závislosti na počte rotorov [1]

| Velikost drtiče | Fz (N)        |              |
|-----------------|---------------|--------------|
|                 | jednorotorový | dvojrotorový |
| Malý            | 0,5 - 1       | 6,9 – 9,8    |
| Střední         | 3 - 10        | 13,7 – 14,7  |
| Velký           | 5,8 – 16,7    | 23,5 – 34,3  |

Činná dĺžka líšt  $l_s$  :

$$l_s = i \cdot l \cdot n \quad (6)$$

$$l_s = 2 \cdot 0,5 \cdot 770$$

$$l_s = 12,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

-  $i$  – počet odrazových líšt v rotore

-  $l$  – dĺžka jednej lišty

-  $n$  – predpokladané otáčky rotoru (po dohode so zadávateľom)

Bol zvolený nízkonapäťový asynchrónny trojfázový elektromotor s rotorom nakrátko. Elektromotor je od firmy *Siemens* a nesie označenie *1LE1001-1DB4*.

**Tab. 6 technické parametre elektromotora [14]**

|  |      |
|--|------|
| Menovitý výkon (pri 50Hz) $P_N$ [kW]     | 15   |
| Menovité otáčky (při 50 Hz) $n_N$ [/min] | 1475 |
| Menovitý krútiaci moment $M_N$ [Nm]      | 97   |
| Účinnosť $\eta_N$ [%]                    | 90,6 |
| Účinník $\cos \varphi_N$ [-]             | 0,85 |
| Hmotnosť $m$ [kg]                        | 83   |

Spolu s elektromotorom bude pracovať kompatibilný frekvenčný menič firmy Siemens s označením Sinamics V20. Menič je jednoduchý a cenovo dostupný pre rôzne riešenia pohonov.

**Technické parametre frekvenčného meniča:**

|                            |  |
|----------------------------|--|
| napáťový a výkonový rozsah | 1AC x 200 V - 240 V, $\pm 10\%$ ; 0,12 – 3kW         |
|                            | 3AC x 380 V - 480 V, $+10\%$ / $-15\%$ , 0,37 – 30kW |

### 3.4 Výpočet minimálneho priemeru hriadele rotoru

**Krútiaci moment na hriadeli elektromotora:**

$$M_{K1} = \frac{P_1}{2 \cdot \pi \cdot n_1} = \frac{60 \cdot 15 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot 1475} = 97 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (7)$$

Pre výpočet krútiaceho momentu  $M_{K2}$  na hriadeli rotoru je potrebný prevodový pomer medzi hnacím a hnaným strojom. Tento pomer je možné určiť podielom pracovných otáčok oboch strojov. Otáčky hnaného stroja  $n_2 = 770 \text{ min}^{-1}$  boli určené po dohode so zadávateľom.

**Predbežný prevodový pomer:**

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1475}{770} = 1,92 \quad (8)$$

**Krútiaci moment na hriadeli rotoru:**

$$M_{K2} = M_{K1} \cdot i \cdot \eta_{RP} \cdot \eta_L = 97 \cdot 1,92 \cdot 0,94 \cdot 0,98 = 169,42 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (9)$$

-  $\eta_{RP} = 0,94$  - účinnosť remeňového prevodu [2]

-  $\eta_L = 0,98$  - účinnosť ložiska [2]

**Minimálny priemer hriadeľa  $d_{MIN}$ :**

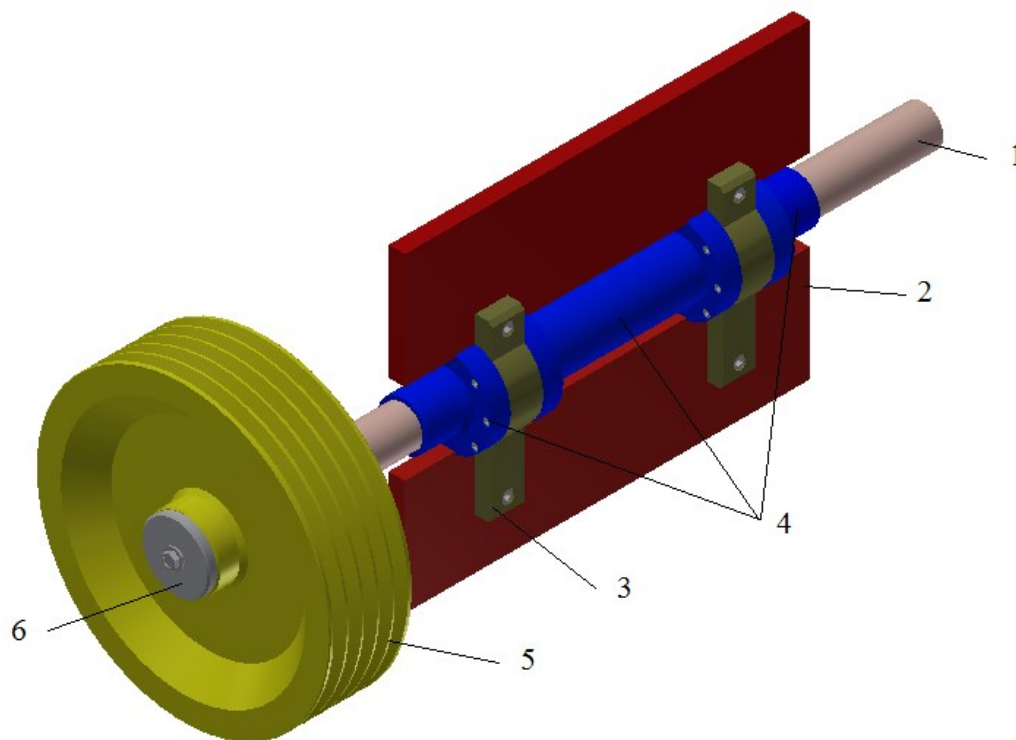
$$\tau = \frac{M_{K2}}{W_K} = \frac{M_{K2}}{\frac{\pi \cdot d_{MIN}^3}{16}} \leq \tau_D \quad (10)$$

- po úprave:

$$d_{MIN} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{K2}}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 169,42}{\pi \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,035 \text{ m}$$

--> priemer vyhovuje

### 3.5 Pevnostná kontrola hriadele rotoru



**Obr. 15 3D model rotoru**

1 – hriadeľ rotoru, 2 – odrazová lišta, 3 – rameno rotoru, 4 – kryty hriadele, 5 – remenica, 6 – krytka remenice

Hriadeľ rotoru bude vyrobená z ocele pevnostnej triedy  $42CrMo4$  čomu zodpovedá medza klzu  $Re = 490 - 765 \text{ MPa}$  a medza únavy  $Rm = 686 - 1777 \text{ MPa}$  [4].

Sily  $K$ ,  $F_P$  a  $F_L$  boli určené výpočtom a overené pomocou softwaru Autodesk INVENTOR. Sila  $K$  predstavuje záťaž od vlastnej tiaže remenice. Programom bola zistená hmotnosť remenice  $m = 33,47 \text{ kg}$ .

**Výpočet sily  $K$ :**

$$K = 33,47 \cdot 9,81 = 328,34 \text{ N} \quad (11)$$

Sily  $F_P$  a  $F_L$  predstavujú záťaž od odrazových líšt, ktoré sú upevnené na ramenách rotoru. Programom bola určená hmotnosť lišty spolu s ramenom  $m = 17,39 \text{ kg}$ .

**Výpočet síl  $F_P$  a  $F_L$ :**

$$F_L = 17,39 \cdot 9,81 = 170,5 \text{ N} = F_P \quad (12)$$

**Výpočet reakcie  $R_L$ :**

$$\sum M_{RP} = -K \cdot 804,5 + R_L \cdot 676 - F_L \cdot 481 - F_P \cdot 195 = 0 \quad (13)$$

- po úprave dostaneme:

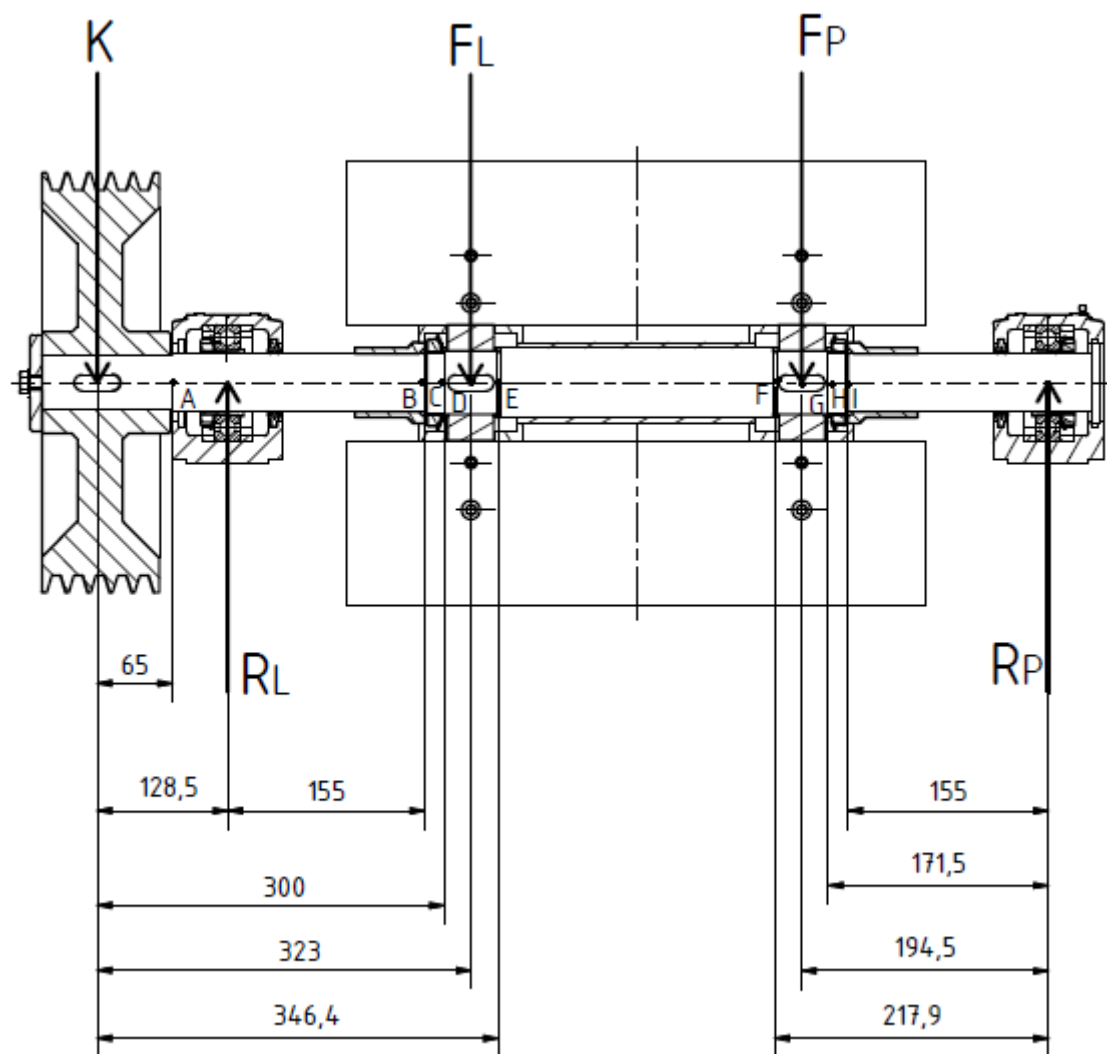
$$R_L = \frac{F_L \cdot 481 + F_P \cdot 195 + K \cdot 804,5}{676} = 561,25 \text{ N}$$

**Výpočet reakcie  $R_P$ :**

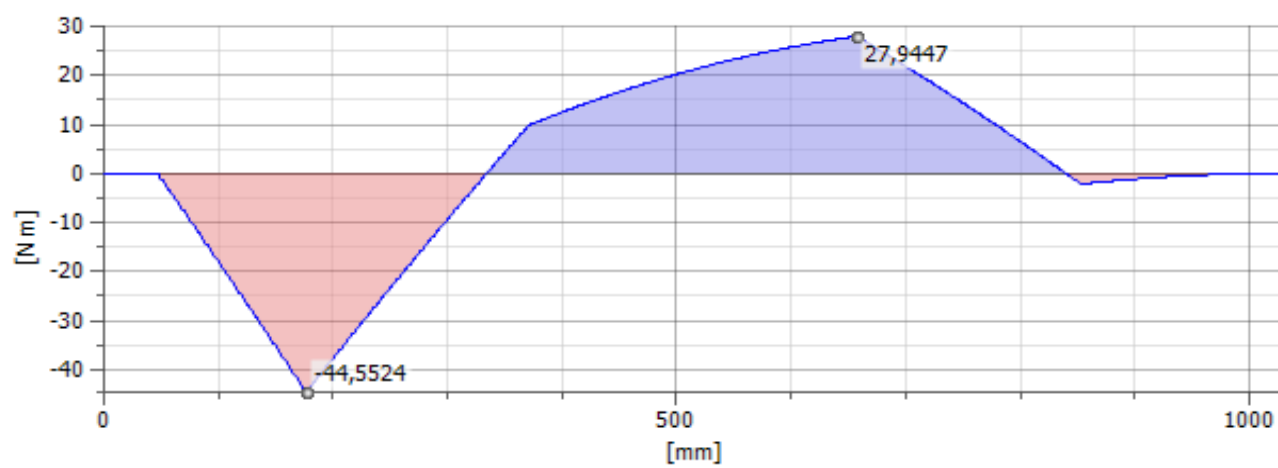
$$\sum F_Y = -K + R_L - F_L - F_P + R_P = 0 \quad (14)$$

- po úprave dostaneme:

$$R_P = K - R_L + F_L + F_P = 328,34 - 561,25 + 2 \cdot 170,5 = 108,09 \text{ N}$$

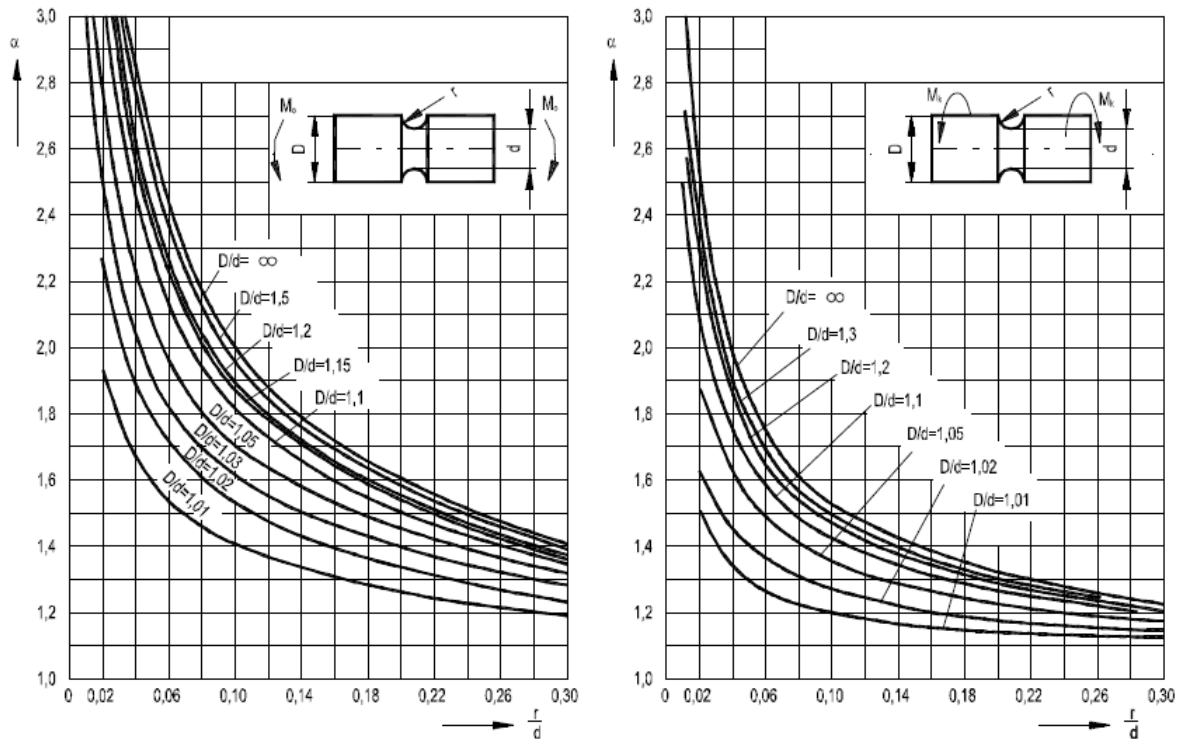


Obr. 16 pôsobenie síl a reakcií

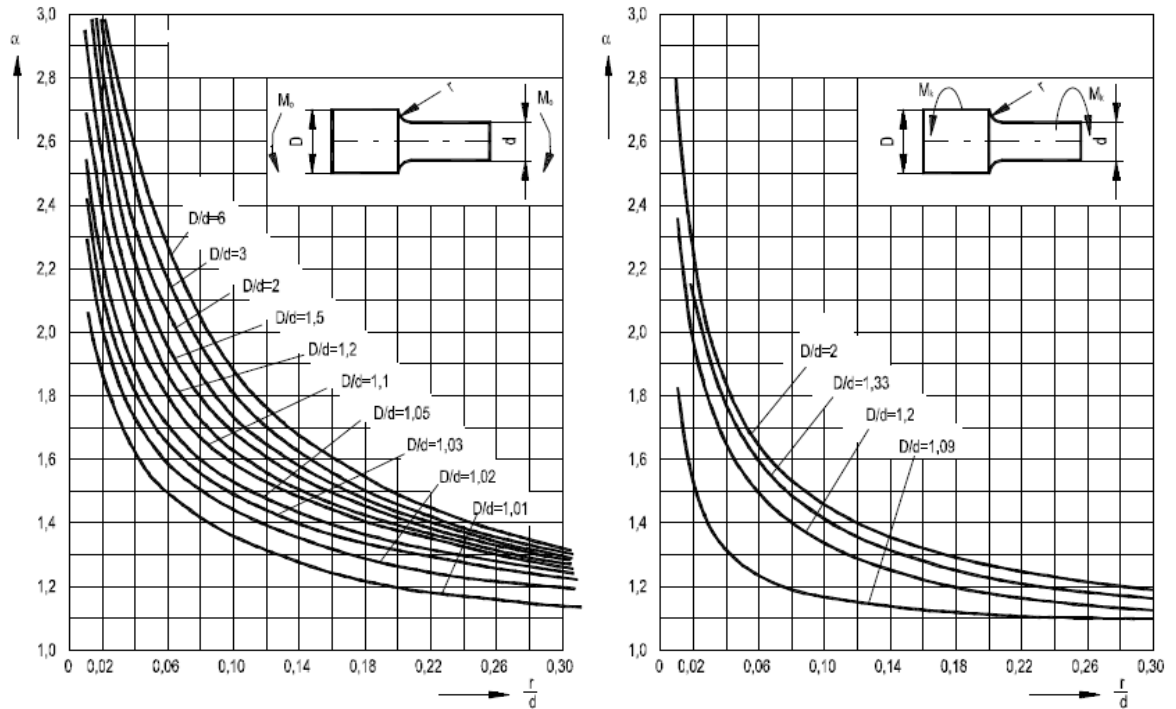


Obr. 17 priebeh ohybového momentu kontrolovaný pomocou programu Autodesk INVENTOR

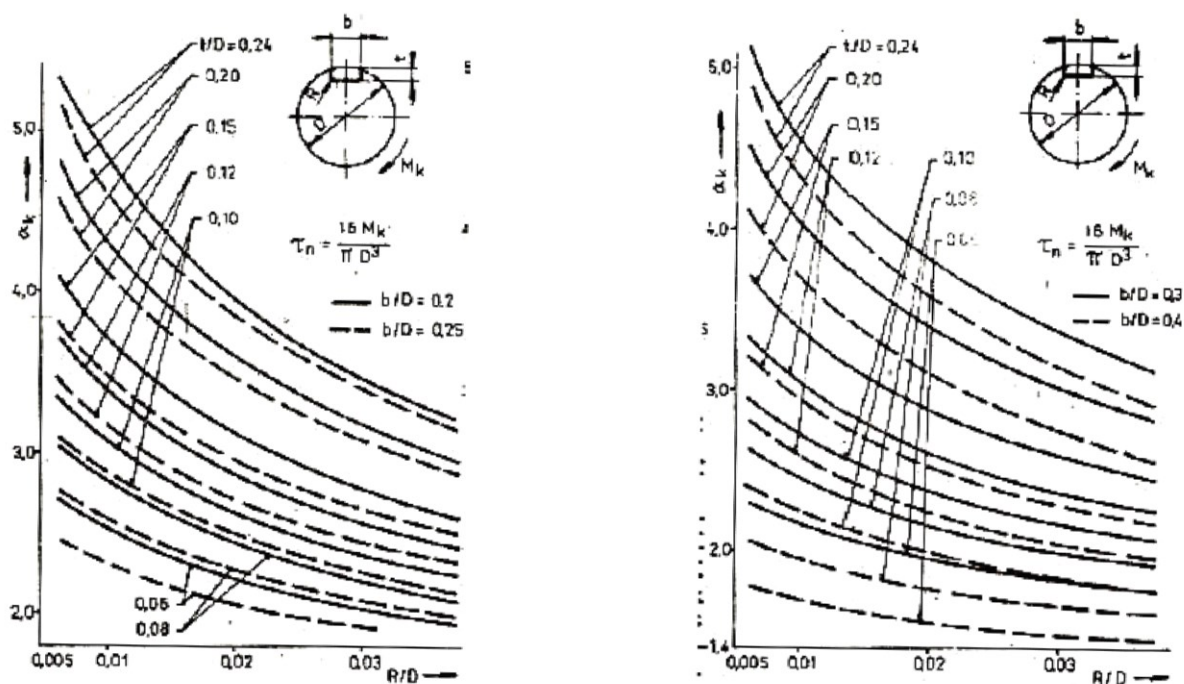
**Graf 2 tvarový súčiniteľ  $\alpha$  pre tyč s vrubom, namáhanú ohybom a krutom**



**Graf 3 tvarový súčiniteľ  $\alpha$  pre osadenú tyč namáhanú ohybom a krutom**

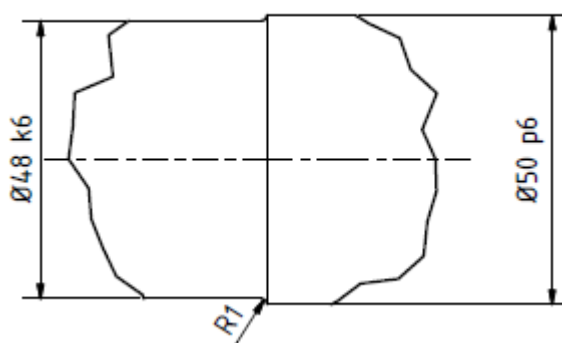


Graf 4 tvarový súčiniteľ  $\alpha$  pre tyč s drážkou pre pero namáhanú krutom



### 3.6 Statická kontrola hriadele rotoru

Miesto A:



Obr. 18 detail A hriadele

Ohybový moment:

$$M_{OA} = -K \cdot 65 = -328,34 \cdot 65 = -21\,506,27 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (15)$$

Napätie v ohybe:

$$\sigma_{OA} = \frac{M_{OA}}{W_{OA}} = \frac{M_{OA}}{\frac{\pi \cdot d_A^3}{32}} = \frac{-21\,506,27}{\frac{\pi \cdot 48^3}{32}} = -1,98 \text{ MPa} \quad (16)$$



**Krútiaci moment:**

$$\tau_{KA} = \frac{M_{KA}}{\frac{\pi \cdot d_A^3}{16}} = \frac{169,42}{\frac{\pi \cdot 48^3}{16}} = 7,8 \text{ MPa} \quad (17)$$

-  $M_{KA}$  - maximálny krútiaci moment v mieste A

**Redukovaný moment:**

$$\sigma_{redA} = \sqrt{(\sigma_{OA} \cdot \alpha_{\sigma OA})^2 + 4 \cdot (\tau_{KA} \cdot \alpha_{\tau KA})^2} = \sqrt{(-1,98 \cdot 1,5)^2 + 4 \cdot (7,8 \cdot 1,4)^2} \quad (18)$$

$$= 22 \text{ MPa}$$

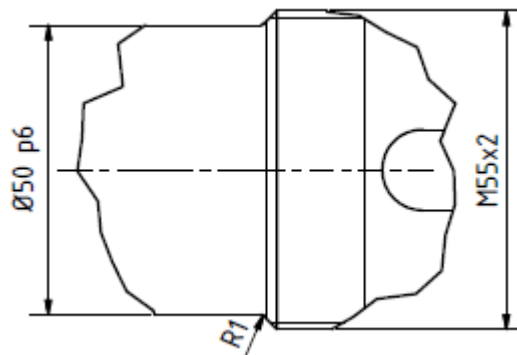
-  $\alpha_{\sigma OA} = 1,5$  hodnota tvarového súčiniteľa pre ohyb podľa grafu 3

-  $\alpha_{\tau KA} = 1,4$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre krut podľa grafu 3

**Statická bezpečnosť:**

$$k_{sA} = \frac{Re}{\sigma_{redA}} = \frac{490}{22} = 22,2 \quad (19)$$

**Miesto B:**



Obr. 19 detail B hriadele

**Ohybový moment:**

$$M_{OB} = -K \cdot 283,5 + R_L \cdot 155 = -328,34 \cdot 283,5 + 561,25 \cdot 155 \quad (20)$$

$$= -6\,090,64 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

**Napätie v ohybe:**

$$\sigma_{OB} = \frac{M_{OB}}{W_{OB}} = \frac{M_{OB}}{\frac{\pi \cdot d_B^3}{32}} = \frac{-6090,64}{\frac{\pi \cdot 50^3}{32}} = -0,5 \text{ MPa} \quad (21)$$

**Krútiaci moment:**

$$\tau_{KB} = \frac{M_{KB}}{\frac{\pi \cdot d_B^3}{16}} = \frac{169,42}{\frac{\pi \cdot 50^3}{16}} = 6,9 \text{ MPa} \quad (22)$$

-  $M_{KB}$  - maximálny krútiaci moment v mieste B

**Redukovaný moment:**

$$\sigma_{redB} = \sqrt{(\sigma_{OB} \cdot \alpha_{\sigma_{OB}})^2 + 4 \cdot (\tau_{KB} \cdot \alpha_{\tau_{KB}})^2} = \sqrt{0,5 \cdot 2,5^2 + 4 \cdot (6,9 \cdot 1,8)^2} = 24,88 \text{ MPa} \quad (23)$$

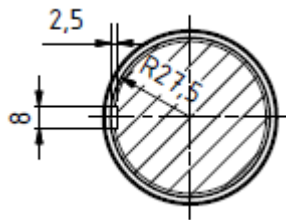
-  $\alpha_{\sigma_{OB}} = 2,5$  hodnota tvarového súčiniteľa pre ohyb podľa grafu 3

-  $\alpha_{\tau_{KB}} = 1,8$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre krut podľa grafu 3

**Statická bezpečnosť:**

$$k_{sB} = \frac{Re}{\sigma_{redB}} = \frac{490}{24,88} = 19,9 \quad (24)$$

**Miesto C:**



Obr. 20 detail C hriadele

**Ohybový moment:**

$$M_{OC} = -K \cdot 300 + R_L \cdot 171,5 = -328,34 \cdot 300 + 561,25 \cdot 171,5 = -2131,17 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (25)$$

**Napätie v ohybe:**

$$\sigma_{OC} = \frac{M_{OC}}{W_{OC}} = \frac{M_{OC}}{\frac{\pi \cdot d_C^3}{32}} = \frac{-2131,17}{\frac{\pi \cdot 55^3}{32}} = -0,13 \text{ MPa} \quad (26)$$

**Krútiaci moment:**

$$\tau_{KC} = \frac{M_{KC}}{\frac{\pi \cdot d_C^3}{16}} = \frac{169,42}{\frac{\pi \cdot 55^3}{16}} = 5,19 \text{ MPa} \quad (27)$$

-  $M_{KC}$  - maximálny krútiaci moment v mieste C

**Redukovaný moment:**

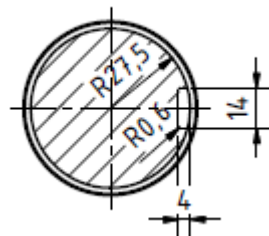
$$\sigma_{redC} = \sqrt{(\sigma_{OC} \cdot \alpha_{\sigma_{OC}})^2 + 4 \cdot (\tau_{KC} \cdot \alpha_{\tau_{KC}})^2} = \sqrt{(0,13 \cdot 1,8)^2 + 4 \cdot (5,19 \cdot 2,6)^2} = 26,9 \text{ MPa} \quad (28)$$

-  $\alpha_{\sigma_{OC}} = 1,7 \div 2$  hodnota tvarového súčiniteľa pre drážku na pero pre ohyb

-  $\alpha_{\tau_{OC}} = 2,6$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre drážku na pero pre krut podľa grafu 4

**Statická bezpečnosť:**

$$k_{sc} = \frac{Re}{\sigma_{redC}} = \frac{490}{24,88} = 19,9 \quad (29)$$

**Miesto D:**

Obr. 21 detail D hriadele

**Ohybový moment:**

$$M_{OD} = -K \cdot 323 + R_L \cdot 194,5 = -328,34 \cdot 323 + 561,25 \cdot 194,5 = 3\,225,76 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (30)$$

**Napätie v ohybe:**

$$\sigma_{OD} = \frac{M_{OD}}{W_{OD}} = \frac{M_{OD}}{\frac{\pi \cdot d_D^3}{32}} = \frac{3225,76}{\frac{\pi \cdot 55^3}{32}} = 0,2 \text{ MPa} \quad (31)$$

**Krútiaci moment:**

$$\tau_{KD} = \frac{M_{KD}}{\frac{\pi \cdot d_D^3}{16}} = \frac{169,42}{\frac{\pi \cdot 55^3}{16}} = 5,19 \text{ MPa} \quad (32)$$

-  $M_{KD}$  - maximálny krútiaci moment v mieste D

**Redukovaný moment:**

$$\sigma_{redD} = \sqrt{(\sigma_{OD} \cdot \alpha_{\sigma_{OD}})^2 + 4 \cdot (\tau_{KD} \cdot \alpha_{\tau_{KD}})^2} = \sqrt{(0,2 \cdot 1,8)^2 + 4 \cdot (5,19 \cdot 2,4)^2} = 24,9 \text{ MPa} \quad (33)$$

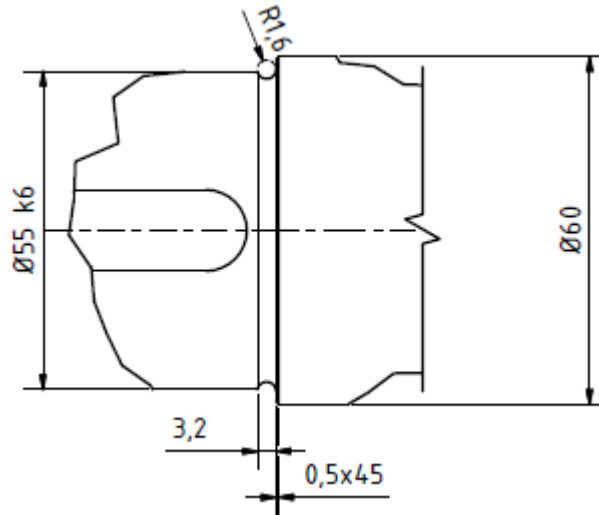
-  $\alpha_{\sigma_{OD}} = 1,7 \div 2$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre drážku na pero pre ohyb

-  $\alpha_{\tau_{OD}} = 2,4$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre drážku na pero pre krut podľa grafu 4

**Statická bezpečnosť:**

$$k_{sD} = \frac{Re}{\sigma_{redD}} = \frac{490}{24,9} = 19,67 \quad (34)$$

**Miesto E:**



Obr. 22 detail E hriadele

**Ohybový moment:**

$$\begin{aligned} M_{OE} &= -K \cdot 346,4 + R_L \cdot 217,9 - F_L \cdot 23,4 \\ &= -328,34 \cdot 346,4 + 561,25 \cdot 217,9 - 170,5 \cdot 23,4 = 4\,786,01 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned} \quad (35)$$

**Napätie v ohybe:**

$$\sigma_{OE} = \frac{M_{OE}}{W_{OE}} = \frac{M_{OE}}{\frac{\pi \cdot d_E^3}{32}} = \frac{4786,01}{\frac{\pi \cdot 55^3}{32}} = 0,29 \text{ MPa} \quad (36)$$

**Krútiaci moment:**

$$\tau_{KE} = \frac{M_{KE}}{\frac{\pi \cdot d_E^3}{16}} = \frac{169,42}{\frac{\pi \cdot 55^3}{16}} = 5,19 \text{ MPa} \quad (37)$$

-  $M_{KE}$  - maximálny krútiaci moment v mieste E

**Redukovaný moment:**

$$\sigma_{redE} = \sqrt{(\sigma_{OE} \cdot \alpha_{\sigma OE})^2 + 4 \cdot (\tau_{KE} \cdot \alpha_{\tau KE})^2} = \sqrt{(0,29 \cdot 2,4)^2 + 4 \cdot (5,19 \cdot 2,4)^2} = 24,9 \text{ MPa} \quad (38)$$

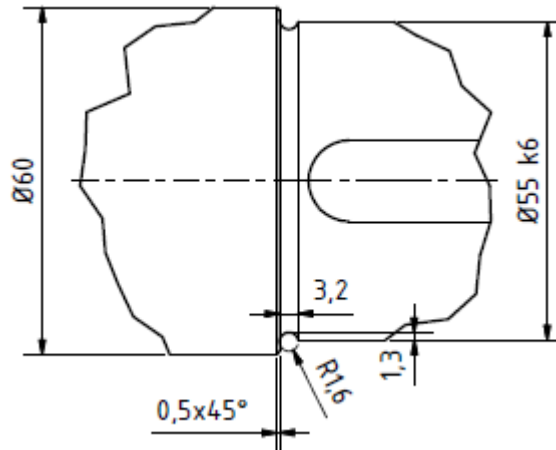
-  $\alpha_{\sigma OE} = 2,4$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre tyč s vrubom pre ohyb podľa grafu 2

-  $\alpha_{\tau OE} = 2,4$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre tyč s vrubom pre krut podľa grafu 2

**Statická bezpečnosť:**

$$k_{sE} = \frac{Re}{\sigma_{redE}} = \frac{490}{24,9} = 19,67 \quad (39)$$

**Miesto F:**



Obr. 23 detail F hriadele

**Ohybový moment:**

$$M_{OF} = R_P \cdot 217,9 - F_L \cdot 23,4 = 108,09 \cdot 217,9 - 170,5 \cdot 23,4 = 19\,517,3 \text{ N.mm} \quad (40)$$

**Napätie v ohybe:**

$$\sigma_{OF} = \frac{M_{OF}}{W_{OF}} = \frac{M_{OF}}{\frac{\pi \cdot d_F^3}{32}} = \frac{19517,3}{\frac{\pi \cdot 55^3}{32}} = 1,2 \text{ MPa} \quad (41)$$

**Krútiaci moment:**

$$\tau_{KF} = \frac{M_{KF}}{\frac{\pi \cdot d_F^3}{16}} = \frac{169,42}{\frac{\pi \cdot 55^3}{16}} = 5,19 \text{ MPa} \quad (42)$$

-  $M_{KF}$  - maximálny krútiaci moment v mieste F

**Redukovaný moment:**

$$\sigma_{redF} = \sqrt{(\sigma_{OF} \cdot \alpha_{\sigma OF})^2 + 4 \cdot (\tau_{KF} \cdot \alpha_{\tau KF})^2} = \sqrt{(1,2 \cdot 2,4)^2 + 4 \cdot (5,19 \cdot 2,4)^2} = 25 \text{ MPa} \quad (43)$$

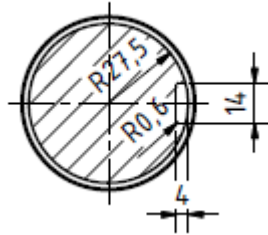
-  $\alpha_{\sigma OF} = 2,4$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre tyč s vrubom pre ohyb podľa grafu 2

-  $\alpha_{\tau OF} = 2,4$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre tyč s vrubom pre krut podľa grafu 2

**Statická bezpečnosť:**

$$k_{sF} = \frac{Re}{\sigma_{redF}} = \frac{490}{25} = 19,6 \quad (44)$$

**Miesto G:**



Obr. 24 detail G hriadele

**Ohybový moment:**

$$M_{OG} = R_p \cdot 194,5 = 108,09 \cdot 194,5 = 21\,077,55 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (45)$$

**Napätie v ohybe:**

$$\sigma_{OG} = \frac{M_{OG}}{W_{OG}} = \frac{M_{OG}}{\frac{\pi \cdot d_G^3}{32}} = \frac{21077,55}{\frac{\pi \cdot 55^3}{32}} = 1,3 \text{ MPa} \quad (46)$$

**Krútiaci moment:**

$$\tau_{KG} = \frac{M_{KG}}{\frac{\pi \cdot d_G^3}{16}} = \frac{169,42}{\frac{\pi \cdot 55^3}{16}} = 5,19 \text{ MPa} \quad (47)$$

-  $M_{KG}$  - maximálny krútiaci moment v mieste G

**Redukovaný moment:**

$$\sigma_{redG} = \sqrt{(\sigma_{OG} \cdot \alpha_{\sigma OG})^2 + 4 \cdot (\tau_{KG} \cdot \alpha_{\tau KG})^2} = \sqrt{1,3 \cdot 1,8^2 + 4 \cdot (5,19 \cdot 2,4)^2} = 25 \text{ MPa} \quad (48)$$

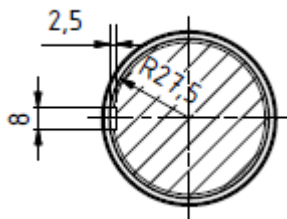
-  $\alpha_{\sigma OG} = 1,7 \div 2$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre drážku na pero pre ohyb

-  $\alpha_{\tau OG} = 2,4$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre krut podľa grafu 4

**Statická bezpečnosť:**

$$k_{sG} = \frac{Re}{\sigma_{redG}} = \frac{490}{25} = 19,6 \quad (49)$$

**Miesto H:**



Obr. 25 detail H hriadele

**Ohybový moment:**

$$M_{OH} = R_P \cdot 171,5 = 108,09 \cdot 171,5 = 18\,591,95 \, \text{N} \cdot \text{mm} \quad (50)$$

**Napätie v ohybe:**

$$\sigma_{OH} = \frac{M_{OH}}{W_{OH}} = \frac{M_{OH}}{\frac{\pi \cdot d_H^3}{32}} = \frac{18591,95}{\frac{\pi \cdot 55^3}{32}} = 1,14 \, \text{MPa} \quad (51)$$

**Krútiaci moment:**

$$\tau_{KH} = \frac{M_{KH}}{\frac{\pi \cdot d_H^3}{16}} = \frac{169,42}{\frac{\pi \cdot 55^3}{16}} = 5,19 \, \text{MPa} \quad (52)$$

-  $M_{KH}$  - maximálny krútiaci moment v mieste H

**Redukovaný moment:**

$$\sigma_{redH} = \sqrt{(\sigma_{OH} \cdot \alpha_{\sigma_{OH}})^2 + 4 \cdot (\tau_{KH} \cdot \alpha_{\tau_{KH}})^2} = \sqrt{(1,14 \cdot 1,8)^2 + 4 \cdot (5,19 \cdot 2,6)^2} = 27 \, \text{MPa} \quad (53)$$

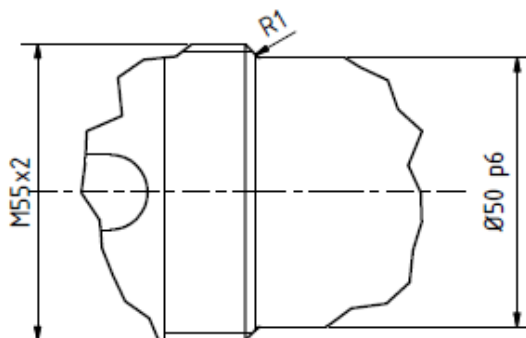
-  $\alpha_{\sigma_{OH}} = 1,7 \div 2$  hodnota tvarového súčiniteľa pre drážku na pero pre ohyb

-  $\alpha_{\tau_{KH}} = 2,6$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre krut podľa grafu 4

**Statická bezpečnosť:**

$$k_{sH} = \frac{Re}{\sigma_{redH}} = \frac{490}{27} = 18,14 \quad (54)$$

**Miesto I:**



Obr. 26 detail I hriadele

**Ohybový moment:**

$$M_{OI} = R_P \cdot 155 = 108,09 \cdot 155 = 16\,753,95 \, \text{N} \cdot \text{mm} \quad (55)$$

**Napätie v ohybe:**

$$\sigma_{OI} = \frac{M_{OI}}{W_{OI}} = \frac{M_{OI}}{\frac{\pi \cdot d_I^3}{32}} = \frac{16\,753,95}{\frac{\pi \cdot 50^3}{32}} = 1,36 \, \text{MPa} \quad (56)$$

**Krútiaci moment:**

$$\tau_{KI} = \frac{M_{KI}}{\frac{\pi \cdot d_B^3}{16}} = \frac{169,42}{\frac{\pi \cdot 50^3}{16}} = 6,9 \, \text{MPa} \quad (57)$$

-  $M_{KI}$  - maximálny krútiaci moment v mieste I

**Redukovaný moment:**

$$\sigma_{redI} = \sqrt{(\sigma_{OI} \cdot \alpha_{\sigma_{OI}})^2 + 4 \cdot (\tau_{KI} \cdot \alpha_{\tau_{KI}})^2} = \sqrt{(1,36 \cdot 2,5)^2 + 4 \cdot (6,9 \cdot 1,8)^2} = 25 \, \text{MPa} \quad (58)$$

-  $\alpha_{\sigma_{OI}} = 2,5$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre ohyb podľa grafu 3

-  $\alpha_{\tau_{KI}} = 1,8$  - hodnota tvarového súčiniteľa pre krut podľa grafu 3

**Statická bezpečnosť:**

$$k_{sI} = \frac{Re}{\sigma_{redI}} = \frac{490}{25} = 19,6 \quad (59)$$



### 3.7 Dynamická bezpečnosť

#### Miesto A:

##### Dynamická bezpečnosť v ohybe:

$$k_{\sigma A} = \frac{\sigma_{COA}^*}{\sigma_{OA}} = \frac{179}{1,98} = 90 \quad (60)$$

- absolútna hodnota ohybového napätia  $\sigma_{OA} = 1,98 \text{ MPa}$  podľa vzorca č.16

##### Medza únavy podľa empirických vzorcov:

$$\sigma_{COA} = 0,49 \cdot R_m = 0,49 \cdot 700 = 343 \text{ MPa} \quad (61)$$

##### Skutočná medza únavy:

$$\sigma_{COA}^* = \sigma_{COA} \cdot \frac{\eta_p \cdot \varepsilon_\sigma}{\beta_\sigma} = 343 \cdot \frac{0,9 \cdot 0,8}{1,38} = 179 \text{ MPa} \quad (62)$$

-  $\eta_p = 0,9$  - súčiniteľ akosti povrchu, graf 7

-  $\varepsilon_\sigma = 0,8$  - súčiniteľ vplyvu veľkosti súčasti, graf 6

##### Vrubový súčiniteľ v mieste A podľa Neubergera:

$$\beta_\sigma = 1 + \frac{\alpha_{\sigma OA} - 1}{1 + \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{\rho_A}}} = 1 + \frac{1,5 - 1}{1 + \frac{0,46}{\sqrt{2}}} = 1,38 \quad (63)$$

-  $\alpha_{\sigma OA} = 1,5$  - hodnota tvarového súčiniteľa podľa grafu 3

-  $\sqrt{A}$  - Neubergerova konštanta vrubovej citlivosti podľa grafu 5

-  $\rho_A$  - polomer vrubu v mieste A

##### Statická bezpečnosť v krute v mieste A:

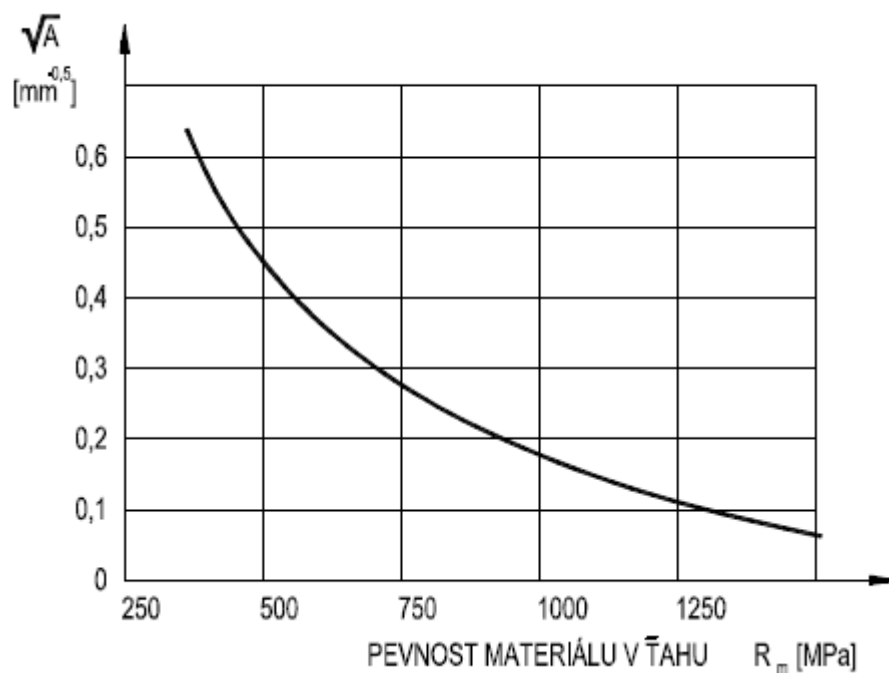
$$k_{\tau A} = \frac{0,577 \cdot Re}{\tau_{KA}} = \frac{0,577 \cdot 490}{7,8} = 36,2 \quad (64)$$

- napätie v krute  $\tau_{KA} = 7,8 \text{ MPa}$  podľa vzorca č.17

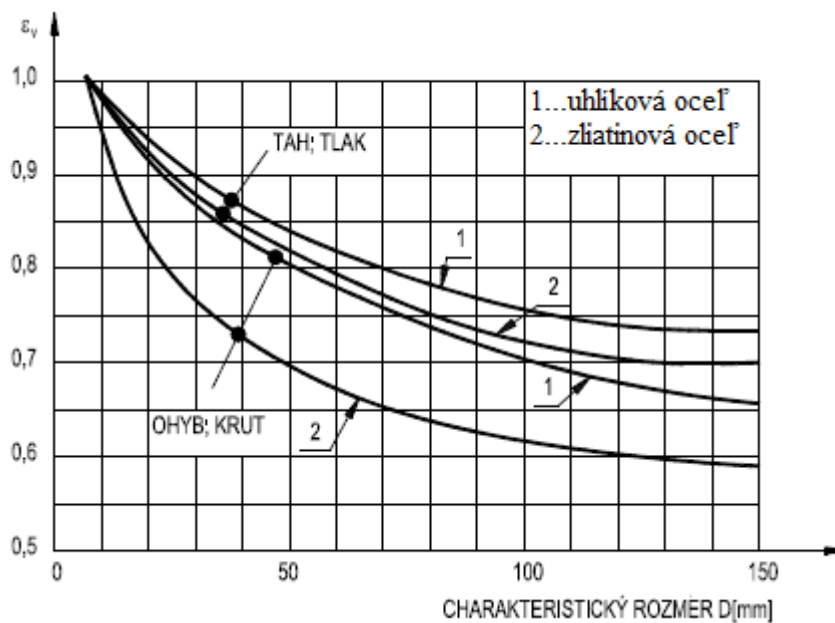
##### Výsledná bezpečnosť v mieste A:

$$k_A = \frac{k_{\sigma A} \cdot k_{\tau A}}{\sqrt{k_{\sigma A}^2 + k_{\tau A}^2}} = \frac{64,7 \cdot 36,2}{\sqrt{64,7^2 + 36,2^2}} = 31,6 \quad (65)$$

Graf 5 Neuberova konštanta vrubovej citlivosti

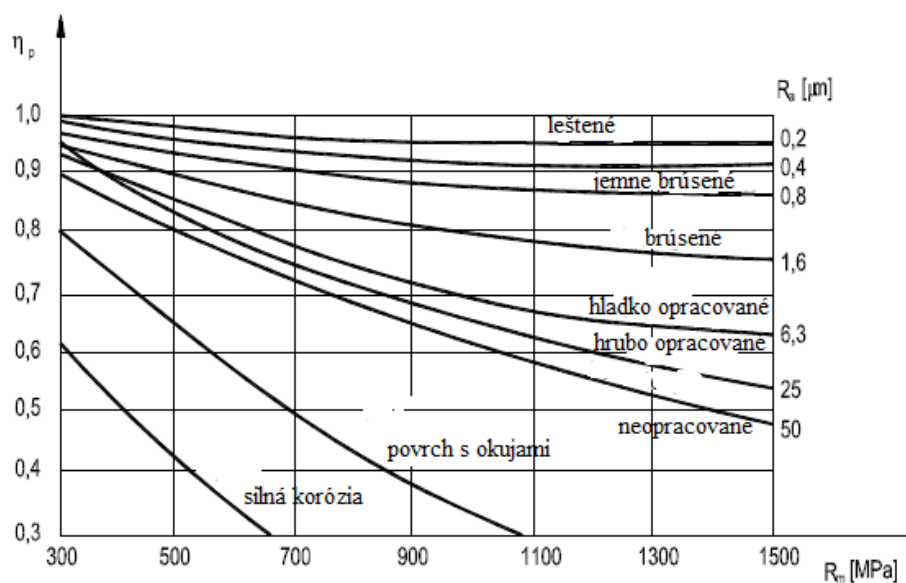


Graf 6 súčiniteľ vplyvu veľkosti súčasti



Dynamická kontrola miest *B*, *C*, *D* až *I* bude vypočítaná analogicky a spracovaná formou tabuľky č.7 . Tabuľka obsahuje všetky potrebné údaje, konštanty a súčinitele. Celková, výsledná bezpečnosť je spracovaná v tabuľke č.9.

Graf 7 súčiniteľ akosti povrchu súčasti



Tab. 7 výsledky dynamickej kontroly

| Miesto   | $\rho_A$<br>[mm] | $\sqrt{A}$<br>[mm] <sup>-0,5</sup> | $\alpha_{\sigma 0i}$<br>[-] | $\beta_\sigma$<br>[-] | $\varepsilon_\sigma$<br>[-] | $\eta_p$<br>[-] | $\sigma_{coi}$<br>MPa | $\sigma_{coi}^*$<br>MPa | $\sigma_{oi}$<br>MPa | $k_{\sigma i}$<br>[-] |
|----------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| <b>A</b> | 2                | 0,46                               | 1,5                         | 1,37                  | 0,8                         | 0,9             | 343                   | 179                     | 1,98                 | 87,5                  |
| <b>B</b> | 1                | 0,46                               | 2,5                         | 2,02                  | 0,79                        | 0,9             | 343                   | 116,2                   | 0,5                  | 234,2                 |
| <b>C</b> | 0,5              | 0,46                               | 1,8                         | 1,48                  | 0,75                        | 0,9             | 343                   | 150,7                   | 0,13                 | 1152                  |
| <b>D</b> | 0,6              | 0,46                               | 1,8                         | 1,5                   | 0,75                        | 0,9             | 343                   | 149                     | 0,2                  | 754,5                 |
| <b>E</b> | 1,6              | 0,46                               | 2,4                         | 2,03                  | 0,75                        | 0,9             | 343                   | 110,4                   | 0,29                 | 376,8                 |
| <b>F</b> | 1,6              | 0,46                               | 2,4                         | 2,03                  | 0,75                        | 0,9             | 343                   | 110,4                   | 1,2                  | 92,4                  |
| <b>G</b> | 0,6              | 0,46                               | 1,8                         | 1,5                   | 0,75                        | 0,9             | 343                   | 149                     | 1,3                  | 115,4                 |
| <b>H</b> | 0,5              | 0,46                               | 1,8                         | 1,48                  | 0,75                        | 0,9             | 343                   | 150                     | 1,14                 | 132,4                 |
| <b>I</b> | 1                | 0,46                               | 2,5                         | 2,02                  | 0,8                         | 0,9             | 343                   | 117,7                   | 0,5                  | 86,2                  |

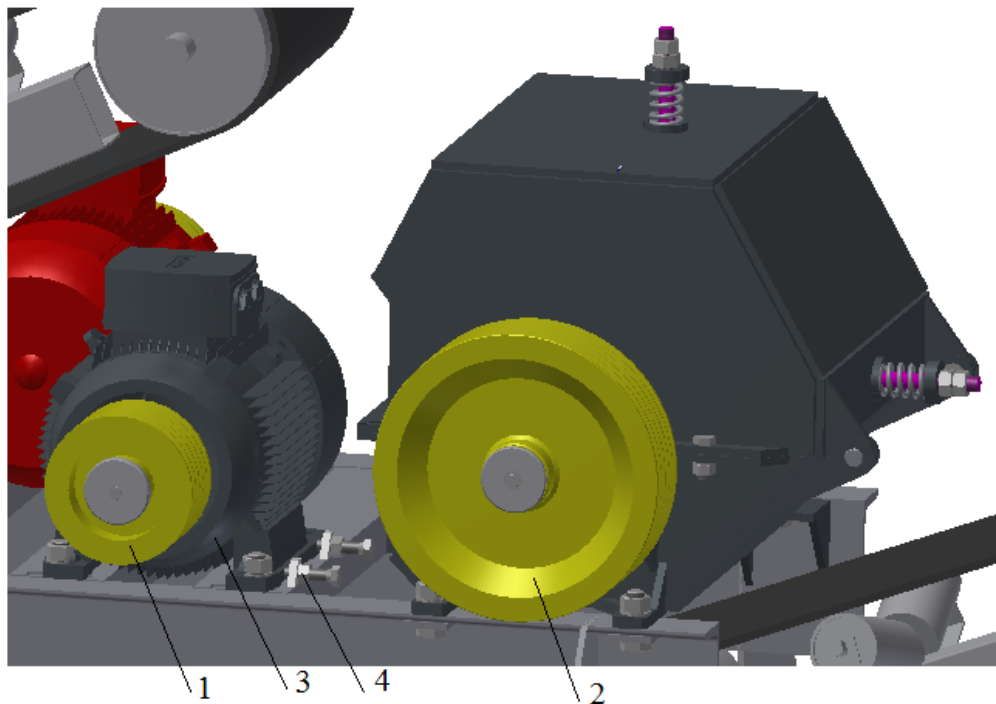
Tab. 8 výsledky statickej bezpečnosti v krute

| <b>Miesto</b> | $\tau_{Ki}$ | $k_{\tau i}$ |
|---------------|-------------|--------------|
| <b>A</b>      | 7,8         | 36,2         |
| <b>B</b>      | 6,9         | 40,9         |
| <b>C</b>      | 5,19        | 54,5         |
| <b>D</b>      | 5,19        | 54,5         |
| <b>E</b>      | 5,19        | 54,5         |
| <b>F</b>      | 5,19        | 54,5         |
| <b>G</b>      | 5,19        | 54,5         |
| <b>H</b>      | 5,19        | 54,5         |
| <b>I</b>      | 6,9         | 40,9         |

Tab. 9 výsledná bezpečnosť

| <b>Miesto</b> | $k_{\sigma i}$ | $k_{\tau i}$ | $k_i$ |
|---------------|----------------|--------------|-------|
| <b>A</b>      | 87,5           | 36,2         | 33,4  |
| <b>B</b>      | 234,2          | 40,9         | 40,3  |
| <b>C</b>      | 1152           | 54,5         | 54,4  |
| <b>D</b>      | 754,5          | 54,5         | 54,3  |
| <b>E</b>      | 376,8          | 54,5         | 53,9  |
| <b>F</b>      | 92,4           | 54,5         | 46,9  |
| <b>G</b>      | 115,4          | 54,5         | 49,2  |
| <b>H</b>      | 132,4          | 54,5         | 50,4  |
| <b>I</b>      | 86,2           | 40,9         | 36,9  |

### 3.8 Návrh a výpočet remeňového prevodu

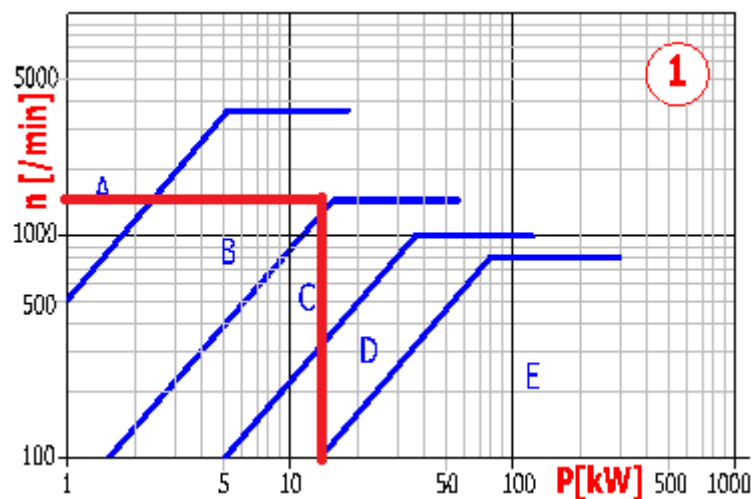


Obr. 27 remeňový prevod

1 – hnacia remenica, 2 – hnaná remenica, 3 – elektromotor Siemens, 4 – napínací mechanizmus

Stanovenie veľkosti prierezu klínového remeňa (graf 8):

Graf 8 voľba typu prierezu klínového remeňa



- na základe vstupných hodnôt výkonu  $P_1 = 15 \text{ kW}$  a otáčkam  $n_1 = 1475 \text{ /min}$  elektromotora bol zvolený prierez klínového remeňa B.

**Minimálny výpočtový priemer** remenice podľa [2] je  $D_{min} = 125 \text{ mm}$

**Návrh výpočtových priemerov:**

$$\begin{aligned}
D_{MIN} &\leq D_1 \leq D_{1MAX} \\
125 &\leq 180 \leq 323,7 \\
D_{1MAX} &= \frac{60000 \cdot v_{1MAX}}{\pi \cdot n_1} = \frac{60000 \cdot 25}{\pi \cdot 1475} = 323,7 \text{ mm}
\end{aligned} \tag{66}$$

- bol zvolený priemer hnacej remenice  $D_1 = 180 \text{ mm}$ , čo vyhovuje vyššie zadanej podmienke

-  $v_{1MAX} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  obvodová rýchlosť remeňa pre typ INDUSTRIAL podľa [2]

**Priemer druhej, hnanej remenice:**

$$D_2 = D_1 \cdot i = 180 \cdot 1,92 = 345,6 \text{ mm} \tag{67}$$

- podľa tabuľky normalizovaných priemerov remení [2], bol zvolený priemer hnanej remenice  $D_2 = 355 \text{ mm}$

**Skutočný prevodový pomer, ktorý rešpektuje pracovný sklz:**

$$i_{SK} = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1 - s)} = \frac{355}{180 \cdot (1 - 0,01)} = 1,99 \tag{68}$$

- pružný sklz podľa [2] bol zvolený  $s = 0,01$  (-)

**Obvodová rýchlosť  $v_1$  pre normalizovaný priemer hnacej remenice  $D_1$ :**

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60} = \frac{\pi \cdot 180 \cdot 1475}{60} = 13,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \tag{69}$$

**Návrh osovej vzdialenosti:**

$$\begin{aligned}
\cos \frac{\alpha}{2} &= \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot A} \\
\cos \frac{\alpha}{2} &= \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot A_{MIN}} \Rightarrow A_{MIN} = \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{355 - 180}{2 \cdot \cos \frac{90}{2}} = 123,74 \text{ mm}
\end{aligned} \tag{70}$$

$$A_{MAX} = 2 \cdot (D_1 + D_2) = 2 \cdot (180 + 355) = 535 \text{ mm} \tag{71}$$

**Určenie dĺžky remeňa:**

$$\frac{\alpha}{2} = \arccos \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot A} = \arccos \frac{355 - 180}{2 \cdot 429} = 78,23^\circ \tag{72}$$

$$\gamma = 90 - \frac{\alpha}{2} = 90 - 78,23 = 11,77^\circ$$

$$\alpha = 180 - 2 \cdot \gamma = 180 - 2 \cdot 11,77 = 156,46^\circ$$

$$\delta = 180 + 2 \cdot \gamma = 180 + 2 \cdot 11,77 = 203,54^\circ$$

- predbežná osová vzdialenosť je podľa návrhu  $A = 429 \text{ mm}$

**Predbežná geometrická dĺžka remeňa:**

$$\begin{aligned}
L'_P &= 2 \cdot A \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \frac{\pi}{2} \cdot (D_1 + D_2) + \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (D_2 - D_1) \\
&= 2 \cdot 429 \cdot \sin 78,23^\circ + \frac{\pi}{2} \cdot (180 + 355) + \frac{\pi \cdot 11,77^\circ}{180} \cdot (355 - 180) \\
&= 1716,3 \text{ mm}
\end{aligned} \tag{73}$$

- normalizovanú výpočtovú dĺžku je podľa [2] zvolená  $L_P = 1800 \text{ mm}$

**Skutočná osová vzdialenosť:**

$$\begin{aligned}
A_{SK} &= \frac{1,04 \cdot L_P - \frac{\pi}{2} \cdot (D_1 + D_2) - \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (D_2 - D_1)}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \\
&= \frac{1,04 \cdot 1800 - \frac{\pi}{2} \cdot (180 + 355) - \frac{\pi \cdot 11,77}{180} \cdot (355 - 180)}{2 \cdot \sin \frac{156,46}{2}} = 508,53 \text{ mm}
\end{aligned} \tag{74}$$

- hodnota 1,04 predstavuje 4 % výpočtovej dĺžky remeňa v dôsledku jeho napnutia

**Stanovenie potrebného počtu remeňov:**

$$N_P = N_O \cdot \frac{C_\alpha \cdot C_L}{C_P} = 5,01 \cdot \frac{0,95 \cdot 0,95}{1,4} = 3,22 \tag{75}$$

**Celkový počet remeňov K:**

$$K = \frac{P_1}{N_P \cdot C_K} = \frac{15}{3,22 \cdot 0,9} = 5,17 \tag{76}$$

- $N_O = 5,01$  - ideálny menovitý výkon [4]
- $C_\alpha = 0,95$  - súčiniteľ vplyvu uhlu opásania [4]
- $C_L = 0,95$  - súčiniteľ vplyvu dĺžky remeňa [4]
- $C_P = 1,4$  - súčiniteľ pracovného režimu [4]

Súčiniteľ počtu remeňov  $C_K$  najskôr treba odhadnúť. Pre 2 až 3 remene zodpovedá tento súčiniteľ hodnote  $C_K = 0,95$  [2]. Na prevod bol zvolený počet remeňov  $K = 5$  s označením  $B - 1800$  ČSN 02 3110.

**Výpočet predpätia remeňa:**

$$F_O = k \cdot \frac{F}{2} \cdot \frac{e^{f_k \cdot \hat{\alpha}} + 1}{e^{f_k \cdot \hat{\alpha}} - 1} = 1,3 \cdot \frac{1077,7}{2} \cdot \frac{e^{1,77 \cdot 0,59} + 1}{e^{1,77 \cdot 0,59} - 1} = 1461,34 \text{ N} \tag{77}$$

$$F = \frac{2 \cdot M_{K1}}{D_1} = \frac{2 \cdot 97}{0,18} = 1077,7 \text{ N} \tag{78}$$

$$f_K = \frac{f}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,5168}{\sin \frac{34}{2}} = 1,77^\circ \quad (79)$$

$$f = f_0 + 0,012 \cdot v_1 = 0,35 + 0,012 \cdot 13,9 = 0,5168 \quad (80)$$

- bezpečnosť proti preklíznutiu remeňa bol zvolený  $k = (1,3 \div 1,6)$
- $f_0 = 0,35$  - súčiniteľ u suchého šmykového trenia vyskytujúceho sa pri novom nezabehnutom remeni [4]
- $\alpha = 34^\circ$  - uhol drážky remenice

Z dôvodu nutného napínania remeňa k dosiahnutiu určitého potrebného predpätia a ľahkej montáže a demontáže remeňa musíme konštrukčne zaistiť, aby bola osová vzdialenosť meniteľná v rozmeroch  $A_{MIN}$  až  $A_{MAX}$ :

$$A_{MIN} = A_{SK} - 0,015 \cdot L_P = 508,53 - 0,015 \cdot 1800 = 481,53 \text{ mm} \quad (81)$$

**- pre nasadenie remeňa**

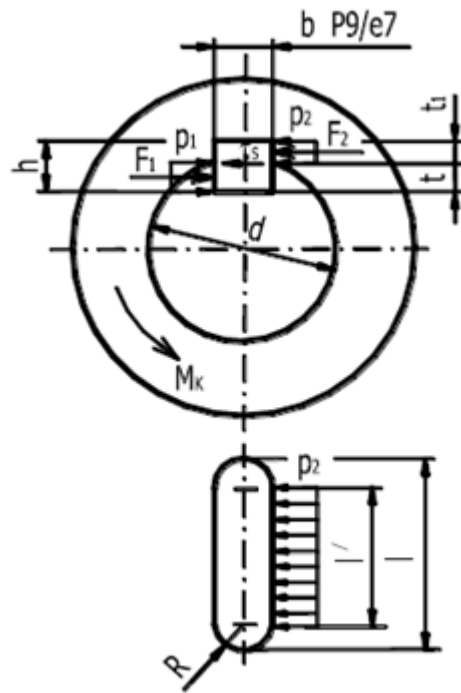
$$A_{MAX} = A_{SK} + 0,030 \cdot L_P = 508,5 + 0,030 \cdot 1800 = 562,53 \text{ mm} \quad (82)$$

**- pre napínanie remeňa**

### 3.9 Spojenie hriadeľa s nábojom remenice pomocou tesného pera

Postup výpočtu spojenia hriadeľa s nábojom je nasledovný: podľa priemeru hriadeľa  $d$  je potrebné určiť normalizovaný prierez pera  $b \times h$  a určiť hĺbku drážky v náboji  $t_1$  a v hriadeli  $t$ . Potom vypočítať potrebnú dĺžku pera z pevnostnej kontroly, kde je spoj namáhaný na otláčenie na bokoch pera a bokoch drážok náboja a hriadele.





Obr. 28 spojenie hriadele s nábojom

**Sila  $F_2$ , ktorá namáha pero:**

$$F_2 = \frac{M_K}{\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{169,42 \cdot 10^3}{\frac{48}{2} + \frac{3,5}{2}} = 6579 \text{ N} \quad (83)$$

**Dĺžka pera:**

$$p_2 = \frac{F_2}{l' \cdot t_1} \leq p_D \quad (84)$$

- úpravou dostaneme:

$$l' = \frac{F_2}{p_D \cdot t_1} = \frac{6579,4}{120 \cdot 3,5} = 15,665 \text{ mm}$$

- podľa priemeru hriadeľa  $d$  pod remenicou bolo zvolené tesné pero s rozmermi  $14 \times 9 \times l$

**Potrebná dĺžka pera :**

$$l = l' + b = 15,665 + 14 = 29,6 \text{ mm} \quad (85)$$

- bola zvolená dĺžka pera  $l = 40 \text{ mm}$

**Kontrola tlaku  $p_1$  :**

$$F_1 = \frac{M_K}{\frac{d}{2} - \frac{t_1}{2}} = \frac{169,42 \cdot 10^3}{\frac{48}{2} - \frac{3,5}{2}} = 7972,7 \text{ N} \quad (86)$$

$$p_1 = \frac{F_1}{l \cdot t} \leq p_D \quad (87)$$

$$\frac{7972,7}{40 \cdot 5,5} \leq 120$$

$$36,2 \leq 120$$

-  $p_D = 120 \text{ MPa}$  - dovolený merný tlak pre oceľovú remenicu [2]

Bude použité tesné pero  $14 \times 9 \times 40$  ČSN 022562.

### 3.10 Spojenie hriadeľa s nábojom ramien rotoru pomocou tesného pera

Postup výpočtu je podobný ako v časti 3.9

**Sila  $F_2$ , ktorá namáha pero:**

$$F_2 = \frac{M_K}{\frac{d}{2} + \frac{t_1}{2}} = \frac{169,42 \cdot 10^3}{\frac{55}{2} + \frac{3,5}{2}} = 5792,1 \text{ N} \quad (88)$$

**Kontrola tlaku  $p_2$ :**

$$p_2 = \frac{F_2}{l' \cdot t_1} \leq p_D \quad (89)$$

- úpravou dostaneme:

$$l' = \frac{F_2}{p_D \cdot t_1} = \frac{5792,1}{120 \cdot 3,5} = 13,7 \text{ mm}$$

- podľa priemeru hriadeľa  $d$  pod remenicou bolo zvolené tesné pero s rozmermi  $14 \times 9 \times l$

**Potrebná dĺžka pera :**

$$l = l' + b = 13,7 + 14 = 27,7 \text{ mm} \quad (90)$$

- bola zvolená dĺžka pera  $l = 40 \text{ mm}$

**Kontrola tlaku  $p_1$  :**

$$F_1 = \frac{M_K}{\frac{d}{2} - \frac{t_1}{2}} = \frac{169,42 \cdot 10^3}{\frac{55}{2} - \frac{3,5}{2}} = 6579,4 \text{ N} \quad (91)$$

$$p_1 = \frac{F_1}{l \cdot t} \leq p_D \quad (92)$$

$$\frac{6579,4}{40 \cdot 5,5} \leq 120$$

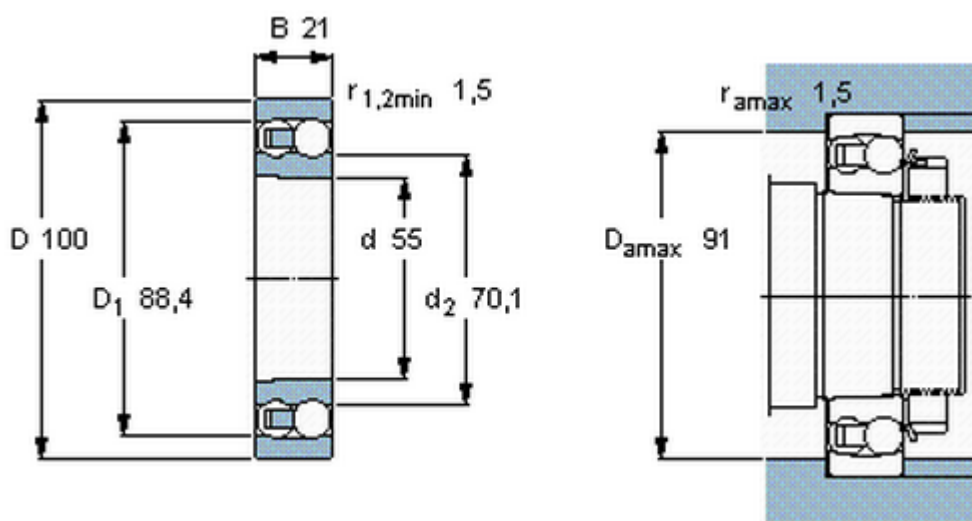
$$29,9 \leq 120$$

-  $p_D = 120 \text{ Mpa}$  - dovolený merný tlak pre oceľovú remenicu [2]

Na spojenie hriadele a náboja ramien rotora bude použité tesné pero 14e7 x 9 x 40 ČSN 022562.

### 3.11 Výpočet trvanlivosti ložísk

Na prenos radiálnych síl z rotoru drviča do rámu drviča boli zvolené naklápacie guľkové ložiská SKF 1211 EKTN9/C3 (obr. 29). Tento typ ložiska má kužeľovú dieru, takže k hriadeľu bude upevnené na kužeľovom puzdre H211 [3], zaistená poistnou podložkou MB11 a poistnou maticou KM11. Ďalej bol zvolený ložiskový domec FSE 511-609 (obr.30).

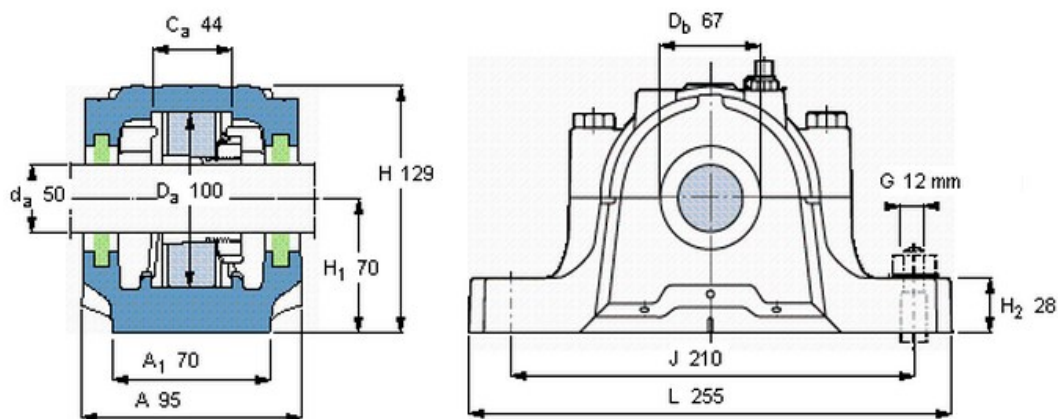


Obr. 29 naklápacie guľkové ložisko 1211 EKTN9/C3

#### Technické parametre ložiska EKTN9/C3:

Tab. 10 parametre ložiska

| Vnútorný<br>priemer<br><i>d</i> [mm] | Vonkajší<br>priemer<br><i>D</i> [mm] | Šírka<br>ložiska<br><i>B</i> [mm] | Dynamická<br>únosnosť<br><i>C</i> [kN] | Statická<br>únosnosť<br><i>C<sub>0</sub></i> [kN] | pracovné<br>otáčky <i>n</i><br>[1/min] | maximálne<br>otáčky <i>n<sub>max</sub></i><br>[1/min] |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--|---|--|---|
| 55                                   | 100                                  | 20                                | 27,6                                   | 10,6  | 14 000                                 | 9 000   |



Obr. 30 ložiskový domec FSE 511-609

**Dynamické ekvivalentné zaťaženie:**

$$P_R = X \cdot F_R + Y \cdot F_A = 1 \cdot 561,25 = 561,25 \text{ N} \quad (93)$$

$$\frac{F_A}{F_R} \leq e$$

$$\frac{F_A}{F_R} \leq 0,19$$

- hodnota  $e = 0,19$  je zadaná v katalogu SKF [6]
- podľa [4] je hodnota  $X = 1$  a  $Y = 0$
- radiálna sila  $F_R$  je rovná sile  $R_L$

**Trvanlivosť ložiska v pracovných otáčkach pri 10% pravdepodobnosti poruchy:**

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{27600}{561,25}\right)^3 = 118\,920 \text{ mil. ot} \quad (94)$$

**Trvanlivosť ložiska v pracovných hodinách pri 10% pravdepodobnosti poruchy:**

$$L_{10h} = L_{10} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = 118920 \cdot 10^6 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 770} = 2,57 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (95)$$

Kontrola druhého ložiska má rovnaký postup len s inou hodnotou radiálnej sily  $F_R$ , ktorá je rovná reakcii  $R_P$ .

**Dynamické ekvivalentné zaťaženie:**

$$P_R = X \cdot F_R + Y \cdot F_A = 1 \cdot 108,09 = 108,09 \text{ N} \quad (96)$$

$$\frac{F_A}{F_R} \leq e$$

$$\frac{F_A}{F_R} \leq 0,19$$

- hodnota  $e = 0,19$  je zadaná v katalogu SKF [6]
- podľa [4] je hodnota  $X = 1$  a  $Y = 0$

**Trvanlivosť ložiska v pracovných otáčkach pri 10% pravdepodobnosti poruchy:**

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{27600}{108,09}\right)^3 = 16,6 \cdot 10^6 \text{ mil. ot} \quad (97)$$

**Trvanlivosť ložiska v pracovných hodinách pri 10% pravdepodobnosti poruchy:**

$$L_{10h} = L_{10} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = 16,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 770} = 360 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (98)$$

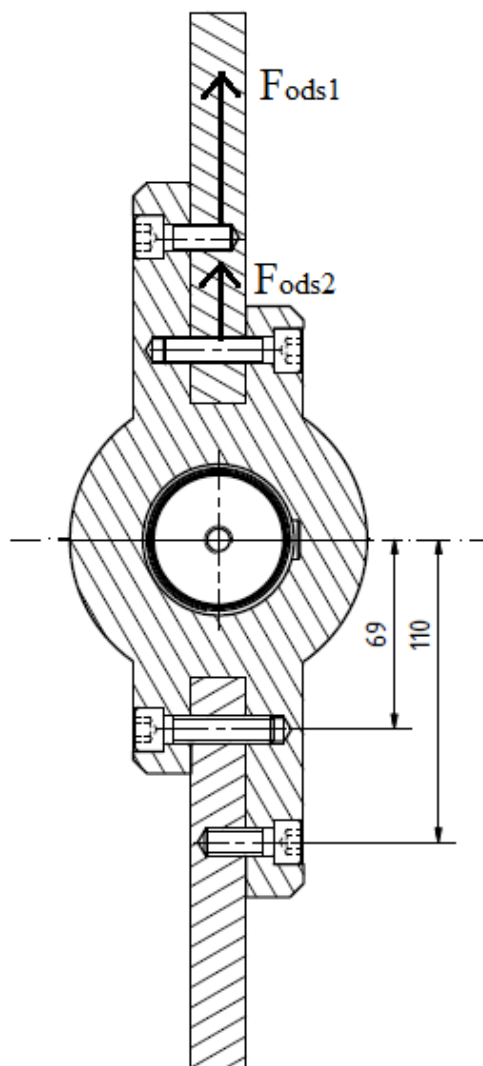
### 3.12 Pevnostná kontrola skrutiek na lištách rotoru

Lišty rotoru sú súmerne pripevnené na ramenách rotoru štyrmi skrutkami s valcovou hlavou a vnútorným šesťhranom. Skrutky budú zaťažované odstredivou silou, ktorú vyvoláva každá z lišt rotoru svojou tiažou. Všetky štyri skrutky sú totožné ale každá dvojica je upevnená na inom polomere.

Lišta rotoru bude vyrobená z plechu HARDOX, oteruvzdornej oceli, ktorá by mala zvýšiť životnosť lišt niekoľkokrát oproti tomu, keby boli použité lišty z bežnej ocele. Tabuľka č.11 pre porovnanie ocele HARDOX a bežnej priemyselnej ocele 11 523.

Tab. 11 porovnanie ocelí

| <b>Materiál</b>    | <b>Tvrdosť</b>         | <b>Pevnosť</b>      |                     | <b>Ťažnosť</b>    | <b>Húževnatosť</b>       | <b>Polomer ohybu</b> |
|--------------------|------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------------|----------------------|
|                    | <b>HB/<br/>Brinell</b> | <b>Re<br/>[MPa]</b> | <b>Rm<br/>[MPa]</b> | <b>A5<br/>[%]</b> | <b>KV, -40°C<br/>[J]</b> | <b>r<br/>[mm]</b>    |
| <b>Hardox 400</b>  | 370-430                | 1000                | 1250                | 12                | 45                       | 3 x t                |
| <b>Oceľ 11 523</b> | 180                    | 380                 | 540                 | 25                | min 40                   | 1,5 x t              |



Obr. 31 rez rotoru

Prvé dve skrutky sú upevnené na polomere  $R_1 = 110 \text{ mm}$ .

**Odstredivá sila:**

$$F_{ods1} = m \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30}\right)^2 \cdot R_1 = \frac{11,36}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 770}{30}\right)^2 \cdot 0,11 = 4\,062,37 \quad (99)$$

- $m [\text{kg}]$  – polovičná hmotnosť odrazovej lišty
- $n [\text{min}^{-1}]$  – otáčky rotoru
- $R_1 [\text{m}]$  – polomer, na ktorom pôsobí odstredivá sila

**Podmienka prekonania radiálnej odstredivej sily:**

$$F_t \geq F_{ods1} \quad (100)$$

$$F_o \cdot f \geq F_{ods1}$$

$$F_o \geq \frac{F_{ods1}}{f} = \frac{4062,37}{0,2} = 20\,311,85 \text{ N}$$

-  $f = 0,2$  – súčiniteľ trenia podľa [4]

**Minimálny priemer potrebnej skrutky  $d'_3$ :**

$$\beta_K \cdot \sigma_T \leq \sigma_{DOV} \quad (101)$$

$$\beta_K \cdot \frac{F_O}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{4}} \leq \frac{Re}{k_s}$$

- úpravou dostaneme:

$$d'_3 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_O \cdot k_s \cdot \beta_K}{\pi \cdot Re}}$$

$$d'_3 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 20311,85 \cdot 1,5 \cdot 1,3}{\pi \cdot 1080}} = 6,83 \text{ mm}$$

-  $k_s = 1,5$  - statická bezpečnosť

-  $\beta_K = 1,3$  – bezpečnostný súčiniteľ

Podľa výpočtu bude zvolená skrutka M10 pevnostnej triedy 12.9 . Charakteristické údaje pre skrutku:

**Tab. 12 parametre skrutky M10**

| $\emptyset d_1$<br>[mm] | $\emptyset d_2$<br>[mm] | $\emptyset d_3$<br>[mm] | $\emptyset d$<br>[mm] | rozteč P | Re<br>MPa |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|----------|-----------|
| 8,376                   | 9,025                   | 8,16                    | 10                    | 1,5      | 1080      |

**Ťahové napätie v skrutke:**

$$\sigma_t = \frac{F_O}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{4}} = \frac{20311,85}{\frac{\pi \cdot 8,16^3}{4}} = 388,4 \text{ Mpa} \quad (102)$$

**Stržné napätie v skrutke:**

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_O \cdot tg(\varphi' + \psi) \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{20311,85 \cdot tg(16) \cdot \frac{9,026}{2}}{\frac{\pi \cdot 8,16^3}{16}} = 246,4 \text{ Mpa} \quad (103)$$

**Charakteristické uhly:**

$$\varphi' = \arctan\left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}}\right) = \arctan\left(\frac{0,2}{\cos \frac{60}{2}}\right) = 13^\circ \quad (104)$$

$$\psi = \arctan\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctan\left(\frac{1,5}{\pi \cdot 9,026}\right) = 3^\circ \quad (105)$$

-  $f_z = 0,2$  – súčiniteľ trenia na závite

**Redukované napätie:**

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{388,4^2 + 4 \cdot 246,4^2} = 627,5 \text{ Mpa} \quad (106)$$

**Výsledná bezpečnosť:**

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{RED}} = \frac{1080}{627,5} = 1,72 \quad (107)$$

Ďalšie dve skrutky sú upevnené na polomere  $R_2 = 69 \text{ mm}$  (obr. 31).

**Odstredivá sila:**

$$F_{ods2} = m \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30}\right)^2 \cdot R_2 = \frac{11,36}{2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 770}{30}\right)^2 \cdot 0,069 = 2\,548,2 \text{ N} \quad (108)$$

-  $m [\text{kg}]$  – polovičná hmotnosť odrazovej lišty

-  $n [\text{min}^{-1}]$  – otáčky rotoru

-  $R_2 [\text{m}]$  – polomer, na ktorom pôsobí odstredivá sila

**Podmienka prekonania radiálnej odstredivej sily:**

$$\begin{aligned} F_t &\geq F_{ods2} \\ F_o \cdot f &\geq F_{ods2} \\ F_o &\geq \frac{F_{ods2}}{f} = \frac{2548,2}{0,2} = 12\,741 \text{ N} \end{aligned} \quad (109)$$

-  $f = 0,2$  – súčiniteľ trenia podľa [4]

**Minimálny priemer potrebnej skrutky  $d_3$ :**

$$\begin{aligned} \beta_K \cdot \sigma_T &\leq \sigma_{DOV} \\ \beta_K \cdot \frac{F_o}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} &\leq \frac{Re}{k_s} \end{aligned} \quad (110)$$

- úpravou dostaneme:

$$\begin{aligned} d_3 &\geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_o \cdot k_s \cdot \beta_K}{\pi \cdot Re}} \\ d_3 &\geq \sqrt{\frac{4 \cdot 12\,741 \cdot 1,5 \cdot 1,3}{\pi \cdot 1080}} = 6,17 \text{ mm} \end{aligned}$$



- $k_s = 1,5$  - statická bezpečnosť
- $\beta_K = 1,3$  – bezpečnostný súčiniteľ

Podľa výpočtu bude zvolená skrutka M10 pevnostnej triedy 12.9 . Charakteristické údaje pre skrutku podľa tab.12.

**Ťahové napätie v skrutke:**

$$\sigma_t = \frac{F_o}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{4}} = \frac{16563}{\frac{\pi \cdot 8,16^3}{4}} = 316 \text{ Mpa} \quad (111)$$

**Strižné napätie v skrutke:**

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_o \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \psi) \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{16563 \cdot \operatorname{tg}(16) \cdot \frac{9,026}{2}}{\frac{\pi \cdot 8,16^3}{16}} = 200,9 \text{ Mpa} \quad (112)$$

**Charakteristické uhly:**

$$\varphi' = \arctan\left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}}\right) = \arctan\left(\frac{0,2}{\cos \frac{60}{2}}\right) = 13^\circ \quad (113)$$

$$\psi = \arctan\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctan\left(\frac{1,5}{\pi \cdot 9,026}\right) = 3^\circ \quad (114)$$

**Redukované napätie:**

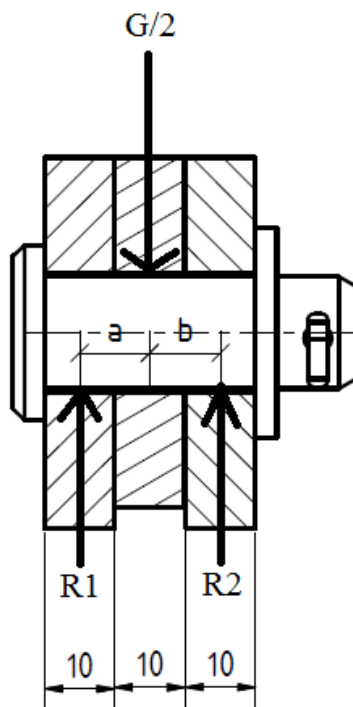
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{316^2 + 4 \cdot 200,9^2} = 511 \text{ MPa} \quad (115)$$

**Výsledná bezpečnosť:**

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{RED}} = \frac{1080}{511} = 2,1 \quad (116)$$

### 3.13 Výpočet minimálneho priemeru čapu rámu

Čap rámu je počas práce drviča nezaťažovaný žiadnou silou. V prípade otvorenia rámu je čap zaťažovaný silou vyvolanou od tiaže vrchnej časti. Hmotnosť tejto časti rámu  $m = 97,8 \text{ kg}$  bola zistená pomocou programu Autodesk INVENTOR. Tu je započítaná aj hmotnosť odrazových dosiek a ich príslušenstva.



Obr. 32 rez zostavy s čapom

**Výpočet tiaže hornej časti rámu:**

$$G = m \cdot g = 97,8 \cdot 9,81 = 959,2 \text{ N} \quad (117)$$

-  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  – tiažové zrýchlenie

**Výpočet reakcií  $R_1$  a  $R_2$ :**

$$\sum F_y = R_2 \cdot (a + b) - \frac{G}{2} \cdot a = 0 \quad (118)$$

- po úprave:

$$R_2 = \frac{\frac{G}{2} \cdot a}{(a + b)} = \frac{\frac{959,2}{2} \cdot 10}{(10 + 10)} = 239,8 \text{ N} = R_1$$

**Maximálny ohybový moment:**

$$M_{OMAX} = R_1 \cdot a = 239,8 \cdot 10 = 2398 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (119)$$

**Minimálny priemer čapu  $d_\epsilon$ :**

$$\sigma_o = \frac{M_{OMAX}}{\frac{\pi \cdot d_\epsilon^3}{32}} \leq \sigma_{DOV} \quad (120)$$

- po úprave:

$$d_{\xi} \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{OMAX}}{\pi \cdot \sigma_{DOV}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2398}{\pi \cdot 90}}$$

$$d_{\xi} \geq 6,5 \text{ mm}$$

-  $\sigma_{DOV} = 90 \div 100 \text{ MPa}$  – dovolený napätie podľa [4]

Bol zvolený priemer čapu  $d_{\xi} = 16 \text{ mm}$ .

#### Kontrola na otláčenie:

$$p = \frac{\frac{G}{2}}{c \cdot d_{\xi}} \leq p_{DOV} \quad (121)$$

$$\frac{\frac{959,2}{2}}{10 \cdot 16} \leq 60$$

$$3 \leq 60$$

--> priemer vyhovuje

-  $p_{DOV} = 60 \div 80 \text{ MPa}$  – dovolený tlak podľa [4]

#### Kontrola na strih:

$$\tau = \frac{\frac{G}{2}}{\frac{\pi \cdot d_{\xi}^2}{4}} \leq \tau_{DOV} \quad (122)$$

$$\frac{\frac{959,2}{2}}{\frac{\pi \cdot 16^2}{4}} \leq 50$$

$$2,4 \leq 50$$

--> priemer vyhovuje

-  $\tau_{DOV} = 50 \div 60 \text{ MPa}$  – dovolený tlak podľa [4]

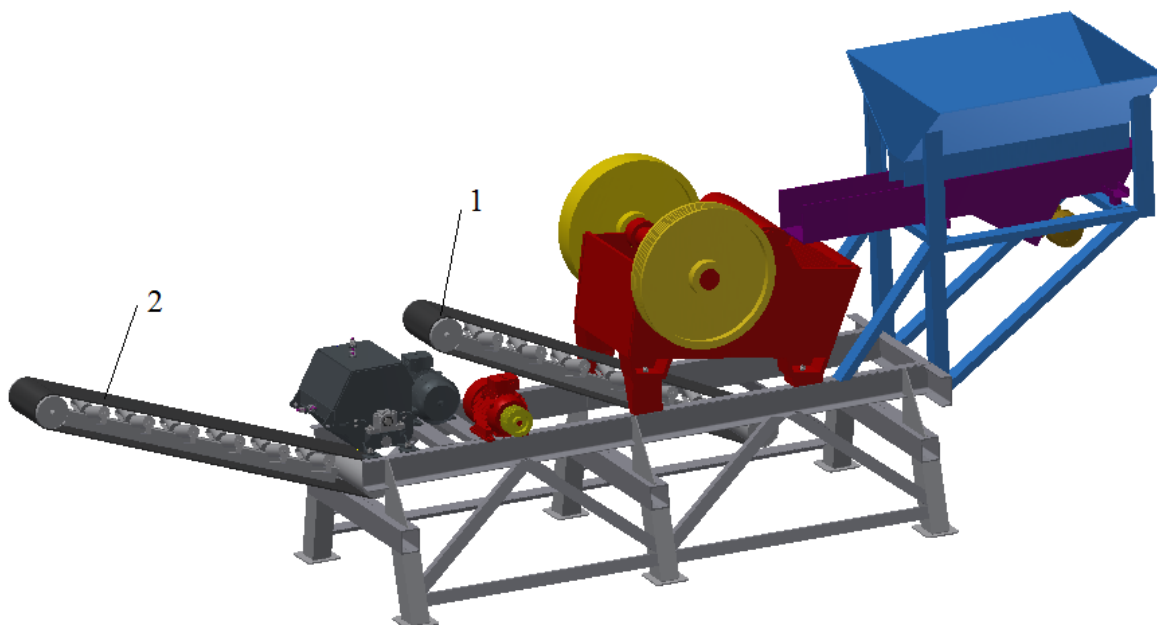
### 3.14 Úpravy pôvodnej linky

Tieto úpravy vyplývajú z celkového výsledného návrhu odrazového drviča. Jeho umiestnenie na linke si bude vyžadovať pásové dopravníky, ktoré prenášajú primárne rozdrvený materiál k odrazovému drviču (primárny) a sekundárne rozdrvený materiál od odrazového drviča do kontajnera (sekundárny).

1. Kvôli konštrukčnej výške primárneho dopravníka je nutné nakloniť primárny drvič o  $9^\circ$ . Z toho dôvodu bude potrebná výroba zvarencov (príloha A - zostavný výkres č. HRU0057; pozícia 12 a 13), ktoré zabezpečia naklonenie drviča.

2. Pod nohy odrazového drviča a jeho pohon bude potrebná výroba zvarencov, ktorými budú stroje k linke upevnené (príloha A - zostavný výkres č. HRU0057/1).
3. Z dôvodu nárastu celkovej tiaže použitej technológie je nutné pridať do stredu linky navyše jednu podperu, ktorá je totožná s dvoma krajnými (pôvodnými). (príloha A - zostavný výkres č. HRU0057; pozícia 21).
4. Celú linku bude nutné z dôvodu plynulého chodu strojov a ich životnosti finálne spevniť oceľovými profilmi  $L\ 80 \times 80 \times 6$  (príloha A - zostavný výkres č. HRU0057; pozícia 22 a 23).

Pásové dopravníky, ich príslušenstvo (sklzy, stierače) a upevnenie k linke rieši firma *Duba – dopravní pásy*. Z dôvodu eliminovania nákladných rozmerov bude sekundárny dopravník lámací (na obr.33 je v dopravník v rozloženom stave ).



Obr. 33 3D model kompletnej linky

### **Charakteristické údaje dopravníků P.D.B400/2,7m :**

Tab. 13 charakteristika dopravníků

|                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| <b>Konstrukcia dopravníku</b> | plnonosník                  |
| <b>Stolica</b>                | dvojvalčková                |
| <b>Šírka pásu</b>             | 400 mm                      |
| <b>Osová dĺžka</b>            | 2700 mm                     |
| <b>Pohon</b>                  | elektrovalec TM216,1 x 420  |
| <b>Výkon</b>                  | 1,5 kW                      |
| <b>Rýchlosť</b>               | 1,17 m/s                    |
| <b>Krytie</b>                 | IP65                        |
| <b>Upevnenie</b>              | bez podpory                 |
| <b>Vstup</b>                  | bez násypky                 |
| <b>El. zapojenie</b>          | bez el. inštalácie          |
| <b>Povrchová úprava</b>       | vrchný lak                  |
| <b>Pás</b>                    | guma trojplátno EP400/3 4+2 |

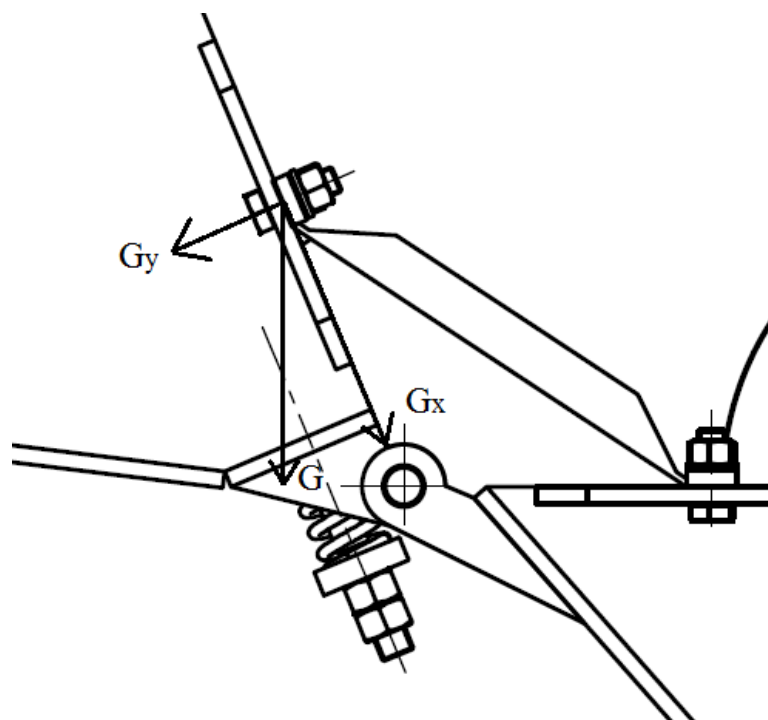
Kópia ponuky na pásový dopravník je priložená v prílohe B č.2 .

### **3.15 Údržba a servis stroja**

Počas manipulácie s vrchnou časťou stroja, kvôli údržbe a servisu rotora a odrazových dosiek bude možné použiť dve vzpery obr.34. Vzpery budú vyrobené tak, aby sa vrchná časť dala otvoriť pod najväčším možným uhlom  $\alpha = 113^\circ$ , a tým sa zjednoduší manipulácia obsluhu. Návod pre údržbu a servis stroja je uvedený v prílohe B č.1 .

#### **Kontrola skrutky M16 na strih:**

Podľa použitého programu Autodesk INVENTOR je hmotnosť vrchnej časti stroja  $m = 97,8 \text{ kg}$ .



Obr. 34 rozklad tiaže G

Tiaž hornej časti rámu podľa vzorca č.118:

$$G = 959,2 \text{ N}$$

Zložka tiaže  $G_x$  pod uhlom  $23^\circ$ :

$$G_x = G \cdot \cos 23^\circ = 959,2 \cdot \cos 23^\circ = 882,9 \text{ N} \quad (123)$$

Na upevnenie vzpery bude použitá skrutka M16 pevnostnej triedy 8.8 . Charakteristické údaje pre skrutku:

Tab. 14 parametre skrutky M16

| $\varnothing d_1$<br>[mm] | $\varnothing d_2$<br>[mm] | $\varnothing d_3$<br>[mm] | $\varnothing d$<br>[mm] | rozteč P | Re<br>MPa |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|----------|-----------|
| 13,835                    | 14,701                    | 13,546                    | 16                      | 2        | 640       |

Kontrola na strih:

$$\tau = \frac{\frac{G_x}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \leq \tau_{Dov} \quad (124)$$

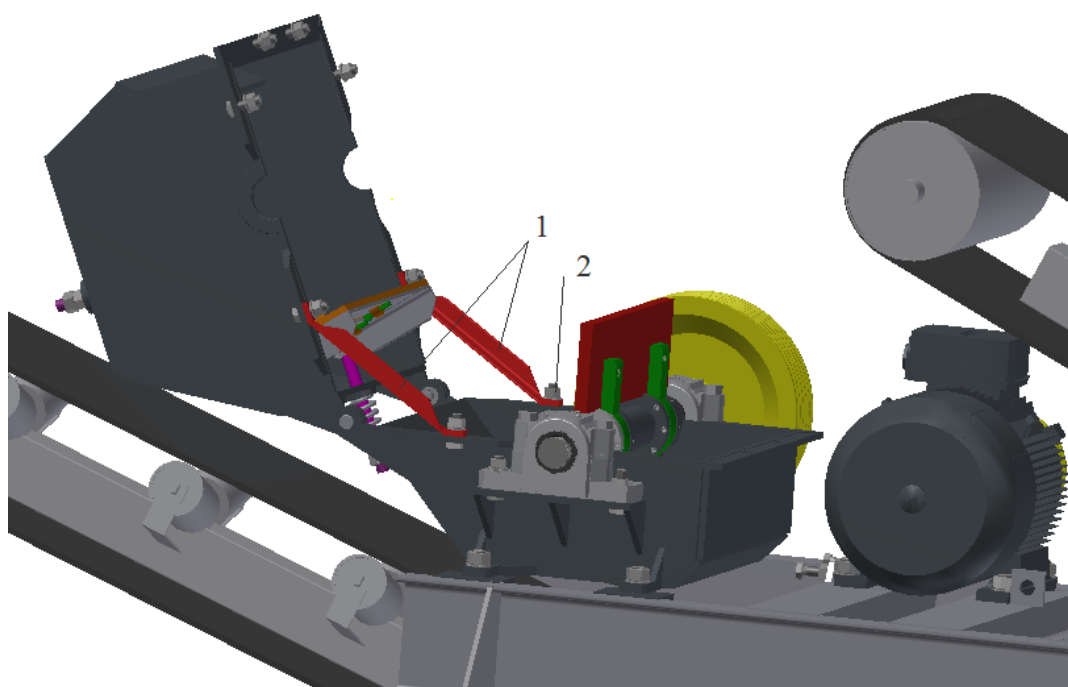
$$\frac{\frac{882,9}{2}}{\frac{\pi \cdot 13,546^2}{4}} \leq 50$$

$$3,06 \leq 50$$

--> zvolená skrutka vyhovuje

-  $\tau_{DOV} = 50 \div 60 \text{ MPa}$  – dovolený tlak podľa [4]

Pravdepodobne najčastejšia údržba sa bude vykonávať výmenou odrazových dosiek a odrazových líšt rotora. Dosky a líšty sú vyrobené z oceleového plechu HARDOX 400. Obrábanie tohto druhu ocele býva často časovo náročné. Preto odporúčam, aby boli líšty a dosky vždy vopred pripravené a dostupné sklado. V prípade poruchy tak nemusí dôjsť k časovým prestojom, kvôli príprave dielcov.



Obr. 35 použitie pomocných vzpier

1 – vzpery, 2 – skrutka M16

## 4. Záver

Podľa zadania bol v práci spracovaný návrh sekundárneho drviča kovového odpadu, konkrétne odpadu vo forme sypkého materiálu. Práve pre takúto formu, konzistenciu materiálu, bola tvorba stroja a celý jeho návrh prirovnávaný k spracovávaniu sypkých zrnitých hmôt. Sypký materiál, teda hmota, určená na predrvenie je charakterizovaná ako výlisok hliníkových špôn, ktoré vznikajú pri obrábaní hliníkových dielcov v automobilovom priemysle. Keďže špony obsahujú aj malé percento zliatinovej ocele, je potrebné tieto dva materiály od seba odlúčiť pre ďalšie spracovanie v hutnom priemysle.

Recyklácia hliníka nedegraduje jeho chemické ani fyzikálne vlastnosti. Práve preto sa takto vzniknutá, recyklovaná hmota cení viac ako tá, na ktorú je potrebné minúť obrovské množstvo energie a prvej suroviny, bauxitu, pre jej získanie. Takto získaná surovina sa tiež cení aj z hľadiska ochrany životného prostredia. Svojím spôsobom vplýva pozitívne na ochranu, vďaka šetreniu nákladov a prostriedkov na odťaženie prvej suroviny alebo jej spracovanie v hutnom priemysle.

Kolobeh hliníka ako chemickej látky v prírode je uzatvorený kruh čo poukazuje i fakt, že jeho recykláciou sa znovu získa takmer celá jeho hodnota a ušetrí sa takmer 95 % energie. Jediným faktorom, ktorý nás odradzuje od jeho recyklovania je náročná predpríprava suroviny. Prvým krokom je jeho ukladanie a separácia na skládkach. Druhým krokom možno nazvať jeho chemické očistenie od prísad alebo látok, ktoré si z výroby a spracovania odnáša.

Stroj, ktorým sa celá práca zaoberá patrí do semimobilnej linky na spracovanie briekiet z hliníkového odpadu. Bol navrhnutý tak, aby svojimi výkonnosťnými a rozmerovými parametrami vyhovoval vopred určeným podmienkam.

Hodnoty v zadaní smerovali celý návrh a výpočty k tvorbe stroja, ktorý drví hmotu na základe dynamického rázu. Stroj je možné prirovnať k odrazovému drviču s rotorom uprostred. Roztočením rotora na určité otáčky sa vytvára obrovská kinetická energia, ktorá sa predáva časticiam hneď pri vstupe do stroja. Takto energiou naakumulované častice frakcie dopadajú na hmotnú odrazovú dosku. Tento cyklus sa v stroji opakuje niekoľkokrát, až do chvíle, pokiaľ nedôjde k úplnému rozpojeniu na požadovanú frakciu. Otáčky rotora však musia byť optimálne. Ak sú príliš nízke, materiál môže prepadávať strojom bez zmeny jeho povrchu. Ak sú však príliš vysoké, materiál je schopný sa pohybovať len po krivke, ktorú vytvára rotor po svojom obvode a obíja sa, taktiež bez zmeny povrchu. Optimálne otáčky môžu byť nastavené elektronikou, ktorá je súčasťou pohonu.



Celý rotor je usadený na naklápacích dvojradových guľíkových ložiskách. Ložiská sú nadimenzované na pomerne dlhú životnosť, ktorá však bude závisieť od ich údržby. Na rotore sú zrkadlovo upevnené dve odrazové lišty z ocele Hardox. Voľbou tohto typu ocele sa životnosť a s ňou spojených odpracovaných hodín zvyšuje. Na lištách nedochádza k tak veľkým opotrebeniam ako v prípade bežnej ocele, čo pri rotujúcich strojoch je podstatným faktorom predlžovania životnosti. Tiež vnútorné steny stroja bude chrániť bandáž z oceľového plechu Hardox. Odrazové dosky sú nastaviteľné pomocou systému, ktorý umožňuje kontrolu štrbiny, najmenšiu vzdialenosť medzi doskou a lištou rotoru. Pohon je jednoduchý, pomocou klínového remeňa. Hnacím strojom bude elektromotor firmy Siemens, výkonom podobný ako pohon primárneho drviča.

Pre inštaláciu sekundárneho drviča na pôvodnú existujúcu linku budú potrebné jej drobné zmeny. Primárny drvič bude potrebné nakloniť o pár stupňov, čo uvoľní priestor primárnemu pásovému dopravníku. Pod sekundárny drvič budú pripevnené dva zvarence na jeho upevnenie k linke. Umiestnenie elektromotora si tiež vyžaduje podstavu.

Pásové dopravníky, primárny aj sekundárny sú riešené v spolupráci s firmou *DUBA – dopravní pásy*. Firma navrhla dva jednoduché dopravníky s profilovým pásom a pohonom pomocou elektrovalcov. Sekundárny dopravník, ktorý vyváža materiál spod sekundárneho drviča bude sklápací, čo zmenší dĺžkový rozmer linky v prípade jej tranzitu.

Stroj sa bude dať jednoducho otvoriť odklopením vrchnej časti. Na zaistenie jej polohy bude možné použiť dve vzpery a tak nimi umožniť jednoduchú manipuláciu s časťami vo vnútri stroja.

Celá linka sa doplní navarením niekoľkých oceľových profilov pre jej spevnenie a podložením ešte jednej podpory v strede. Po inštalácii oboch dopravníkov budú nutné konečné úpravy. Týkajú sa najmä príslušenstva pásových dopravníkov. Po dohode so subdodávateľom sa sklzy a násypky dopravníkov budú riešiť až finálne, čo by mala byť posledná úprava na linke pred jej odovzdaním užívateľovi.

Časom môžu byť navrhnuté aj niektoré vylepšenia mechanizácie linky ako hydraulický pohon odklápania vrchnej časti stroja alebo pohon sklápania sekundárneho dopravníka, ktorý je zatiaľ mechanický.

Technické podmienky, údržba a servis stroja sú predpísané v prílohe B č.1 .

## Zoznam použitej literatúry

- [1] GONDEK, Horst a Arnošt ŠEVČÍK. *Těžební a zpracovatelské stroje III*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 123 s. ISBN 978-80-248-1692-0.
- [2] Kaláb, K.: *Návrh, výpočet a montáž remeňového prevodu*. Vysokoškolská príručka, Ostrava, 2008
- [3] *Valivé a kĺzne ložiská: Základný katalóg* [online]. 1996. Martin: Neografia, a.s., 195 s. [cit. 2105-03-21].
- [4] *Leinveber, J.; Vávra, P. : Strojnícke tabulky*, Albra – pedagogické nakladateľstvá, Úvaly, 2006, ISBN 80-7361-033-7
- [5] VOŠTOVÁ, Věra a Jiří FRIES. *Zpracování pevných odpadů*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 157 s. ISBN 80-01-02672-8.
- [6] CENTRÁLA SKUPINY SKF. 2015. *Valivé a kĺzne ložiská* [online]. [cit. 2105-03-29]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/index.html>
- [7] RAFAJOVÁ, Vlasta. 2014. *Recyklácia hliníka prináša výrazné energetické úspory* [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.emagazine.sk/c/160/recyklacia-hlinika-prinasa-vyrazne-energeticke-uspory>
- [8] SAKER. 2015. *Recyklácia kovových odpadov* [online]. [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.saker.sk/recyklacia-kovovych-odpadov>
- [9] BRIKLIS. 2015. *HLS METAL* [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.brikli.sk/index.php/briketovacie-lisy-kovovych-odpadov/hls-metal>
- [10] RUF MASCHINENBAU GMBH & CO. KG. 2015. *RUF Maschinenbau* [online]. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.ruf.cz/briketovacie-lisy/kovy/>
- [11] ŽĐAS, A.S. 2015. *Zařizování pro zpracování kovového odpadu* [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=28>
- [12] AKROS HENSCHEL. 2010. *Zerreißer mit zwei oder drei Wellen - ZDS und ZTS Baureihe* [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.akros-henschel.com/de/product-description-akros-henschel.php?idsscategorie=80&idcategorie=3>
- [13] Sekundární odrazové drtiče ODH. 2012. *PSP Engineering* [online]. [cit. 2015-05-2]. Dostupné z: <http://www2.pspeng.cz/sekundarni-odrazove-drtice-odh>
- [14] SIMOTICS GP Motory pre všeobecné použitie. 2013. *SIEMENS s.r.o.* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <https://www.cee.siemens.com>
- [15] Hardox 400. 2008. *WINFA s.r.o.* [online]. [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: <http://www.winfa.sk/oteruvzdorne-vysokopevne-ocle/hardox>
- [16] Odrazové drviče TEREX|FINLAY. 2010. *TEREX FINLAY* [online]. [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: <http://www.finlay.hydrex.sk>

## **5. Zoznam príloh**

A – výkresová dokumentácia:

zostavný výkres HRU0057  
zostavný výkres HRU0057/1  
zostavný výkres HRU0057/2  
zostavný výkres 0057  
zostavný výkres 0057/1  
výrobný výkres 0057/1/1  
výrobný výkres 0057/1/2  
výrobný výkres 0057/1/3  
výrobný výkres 0057/1/4  
výrobný výkres 0057/1/5  
výrobný výkres 0057/1/6  
zostavný výkres 0057/1/7  
zostavný výkres 0057/1/8  
výrobný výkres 0057/1/8/1  
zostavný výkres 0057/4  
zostavný výkres 0057/4/1  
zostavný výkres 0057/4/2  
zostavný výkres 0057/5  
zostavný výkres 0057/6

B – ostatné prílohy:

1. Technické podmienky stroja
2. Pásový dopravník - cenová ponuka
3. Plán pancierovania